

**PEMETAAN JALUR EVAKUASI BENCANA TSUNAMI DI TELUK POPOH,
KECAMATAN BESUKI, KABUPATEN TULUNGAGUNG BERBASIS SISTEM
INFORMASI GEOGRAFIS**

**SKRIPSI
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

Oleh :

**DALENDRA KARDINA
NIM. 145080600111015**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

**PEMETAAN JALUR EVAKUASI BENCANA TSUNAMI DI TELUK POPOH,
KECAMATAN BESUKI, KABUPATEN TULUNGAGUNG BERBASIS SISTEM
INFORMASI GEOGRAFIS**

**SKRIPSI
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan di Fakultas
Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya**

Oleh :
**DALENDRA KARDINA
NIM. 145080600111015**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

SKRIPSI
PEMETAAN JALUR EVAKUASI BENCANA TSUNAMI DI TELUK POPOH,
KECAMATAN BESUKI, KABUPATEN TULUNGAGUNG BERBASIS SISTEM
INFORMASI GEOGRAFIS

Oleh:

DALENDRA KARDINA

NIM. 145080600111015

telah dipertahankan di depan penguji

pada tanggal 29 November 2018

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Pembimbing 1



M.A. Zainul Fuad, S.Kel., M.Sc.

NIP. 19801005 200501 1 002

Tanggal:

19 DEC 2018

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 2



Muliawati Handayani, S.Pi., M.Si.

NIP. 201309 881005 2 001

Tanggal:

19 DEC 2018

Mengetahui:

Ketua Jurusan PSPK



Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.PI, MT

NIP. 19780717200 502 1 004

19 DEC 2018

HALAMAN IDENTITAS PENGUJI

**JUDUL : PEMETAAN JALUR EVAKUASI BENCANA TSUNAMI
DI TELUK POPOH, KECAMATAN BESUKI, KABUPATEN
TULUNGAGUNG BERBASIS SISTEM INFORMASI
GEOGRAFIS**

Nama Mahasiswa : Dalendra Kardina

NIM : 145080600111015

Program Studi : Ilmu Kelautan

PENGUJI PEMBIMBING :

Pembimbing 1 : M.A. ZAINUL FUAD, S.Kel., M.Sc.

Pembimbing 2 : MULIAWATI HANDAYANI, S.Pi., M.Si.

PENGUJI BUKAN PEMBIMBING :

Penguji 1 : FENI IRANAWATI, S.Pi., M.Si., Ph.D

Penguji 2 : ANDIK ISDIANTO, ST., MT

Tanggal Ujian : 29 November 2018

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya tulis ini benar- benar merupakan hasil karya saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil penjiplakan atau hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 29 Oktober 2018

Penulis,

Dalendra Kardina
NIM. 145080600111015

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Dalendra Kardina

NIM : 145080600111015

Tempat/Tanggal Lahir: Ponorogo, 10 Desember 1995

No. Tes Masuk PT : 1145501483

Jurusan : Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan.

Program Studi : Ilmu Kelautan.

Jenis Kelamin : Laki - laki

Agama : Islam

Alamat : Perum. Ikip Tegalondo Asri Blok 1L No. 08 Kec.

Karangploso Kab. Malang.

Email : dalendra7@gmail.com



UCAPAN TERIMA KASIH

Atas terselesainya laporan penelitian ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunianya, sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan skripsi ini. Tidak lupa sholawat serta salam untuk junjungan kita Nabi Muhammad SAW.
2. Orang tua, adik dan keluarga besar yang senantiasa mendukung dan selalu memberikan doa serta motivasi.
3. Bapak M. A. Zainul Fuad S.Kel., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Pertama atas bimbingan, arahan dan kebijaksanaannya sampai dengan terselesainya laporan ini.
4. Ibu Muliawati Handayani S.Pi., M.Si selaku Dosen Pembimbing Kedua atas bimbingan, arahan dan kebijaksanaannya sampai terselesainya laporan ini.
5. Bapak dan Ibu dari Kantor BPBD Tulungagung yang telah memberikan kesempatan untuk kesediaan datanya untuk digunakan dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Sahabat-sahabat penulis yang menjadi teman berbagi, tempat berkeluh kesah dan selalu memotivasi penulis dalam mengerjakan laporan skripsi.
7. Seluruh teman-teman seperjuangan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya 2014 (KRAKEN) yang membuat banyak pengalaman yang tidak akan terlupakan selama masa perkuliahan serta memberikan informasi, motivasi dan dukungannya sehingga seluruh kegiatan perkuliahan, Praktik Kerja Magang, dan Skripsi dapat terselesaikan

RINGKASAN

DALENDRA KARDINA. Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami Di Teluk Popoh, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung Berbasis Sistem Informasi Geografis (di bawah bimbingan **Mochamad Arif Zainul Fuad** dan **Muliawati Handayani**).

Indonesia adalah negara dengan dua potensi besar dalam sumber daya alam dan bencana alam. Potensi bencana alam tersebut disebabkan karena Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik yang selalu bergerak. Salah satu bencana yang pernah terjadi di Indonesia adalah tsunami. Salah satu daerah yang termasuk dalam wilayah rawan bencana tsunami adalah daerah Teluk Popoh yang berada di sepanjang pesisir pantai di sebelah selatan Kabupaten Tulungagung dan secara administratif berada di Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Meskipun Kabupaten atau Kota Tulungagung memiliki tingkat risiko sedang dalam indeks gempa bumi, di daerah Teluk Popoh terdapat Pantai Sidem dan Pantai Popoh yang berpusat sebagai tujuan wisata, aktivitas ekonomi masyarakat sekitar dan pemukiman padat penduduk sehingga diperlukan upaya mitigasi bencana. Salah satu upaya penting dalam mitigasi bencana adalah pembuatan peta jalur evakuasi bencana tsunami berbasis Sistem Informasi Geografis.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan jalur evakuasi bencana tsunami dan analisis pemetaan jalur evakuasi bencana tsunami berbasis Sistem Informasi Geografis. Penelitian mengenai upaya mitigasi bencana ini menggunakan metode *network analyst*, menggunakan parameter titik evakuasi dan data jaringan jalan. Titik evakuasi dan jalur evakuasi menggunakan parameter-parameter seperti topografi, data jaringan jalan dan *land cover*. Untuk mengetahui efektivitas titik evakuasi dan jalur evakuasi menggunakan parameter-parameter seperti data penduduk, lebar dan kondisi jalan serta kecepatan pengungsi dalam menempuh titik evakuasi.

Titik evakuasi tsunami di Desa Besole yang sudah ada terdapat empat titik di antaranya, tiga titik kumpul sementara dan satu titik evakuasi akhir. Hasil dari pengolahan data penelitian diperoleh lima titik evakuasi yang disarankan dan enam jalur evakuasi. Empat titik kumpul sementara terbagi dua titik di Pantai Sidem dan dua titik di Pantai Popoh. Satu titik terakhir berupa titik evakuasi akhir yang disarankan. Jalur evakuasi terbagi di Sidem dan Popoh masing-masing tiga jalur. Efektivitas waktu tempuh menuju titik evakuasi menggunakan kecepatan berjalan yang dilakukan langsung di lokasi. Kondisi berjalan menuju titik evakuasi dibagi dua, yaitu orang dewasa dan orang tua. Titik tercepat yang dapat ditempuh orang dewasa adalah Titik A dan terlama Titik E dengan masing-masing kecepatan 32 detik dan 4 menit 49 detik. Bagi orang tua, titik tercepat yang dapat ditempuh adalah Titik A dan terlama Titik E dengan masing-masing kecepatan 1 menit 13 detik dan 4 menit. Jumlah total titik kumpul yang disarankan sebanyak empat titik kumpul, diperkirakan memiliki total prakiraan jumlah pengguna (jiwa) sebesar 483 jiwa.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan hidayah-Nya sehingga memberikan petunjuk serta kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan baik.

Laporan Penelitian ini dibuat sebagai laporan tertulis dan menjelaskan hasil dari pelaksanaan penelitian Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Teluk Popoh, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung Berbasis Sistem Informasi Geografis yang dilaksanakan di daerah Teluk Popoh, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung. Dalam pelaksanaannya diharapkan pembaca dapat memperoleh pengetahuan baru dan penelitian ini dapat dilanjutkan oleh peneliti lain.

Penyusunan dan penulisan laporan skripsi ini, tentu terdapat kesalahan yang terjadi baik kesalahan penulis atau kesalahan sistematika metode penulisan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat diperlukan untuk penyempurnaan skripsi ini. Diharapkan, hasil dari penelitian ini dapat dijadikan acuan dan referensi untuk penelitian lebih lanjut di masa mendatang.

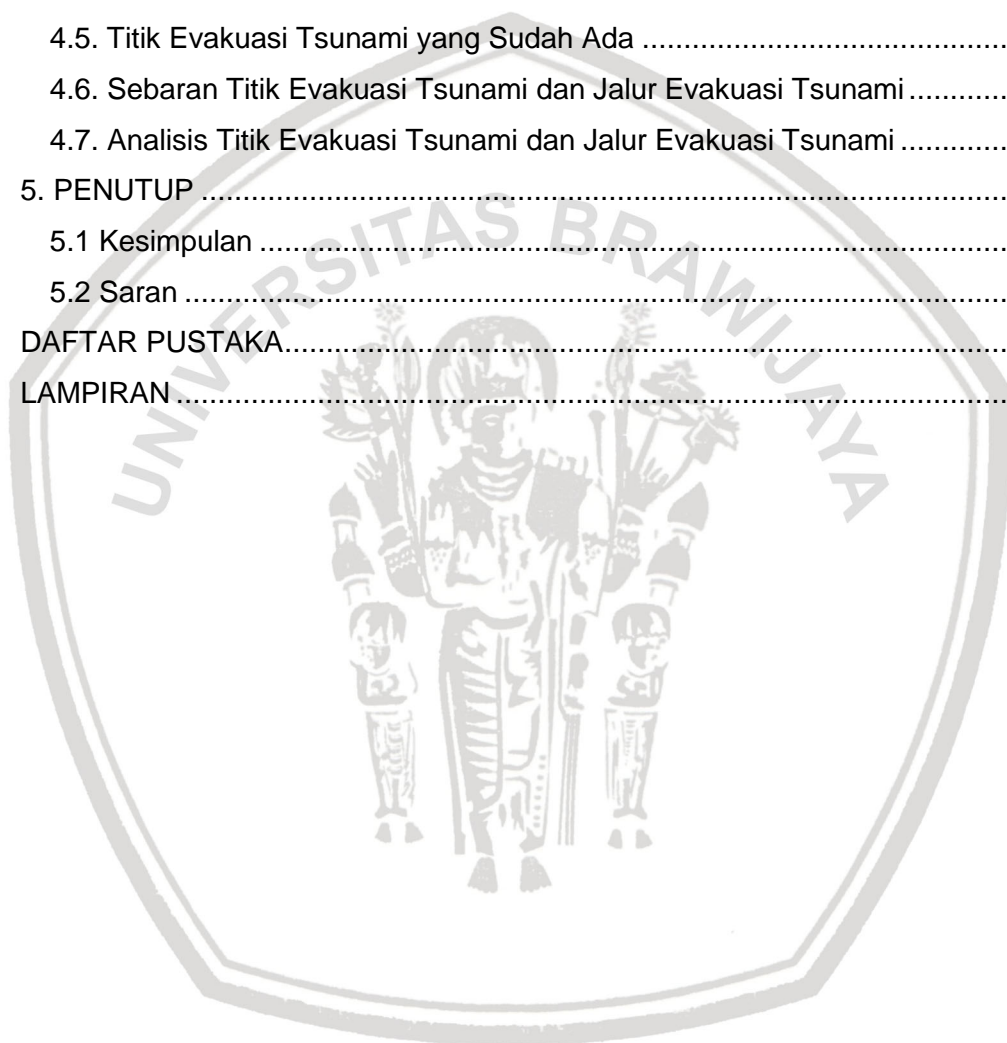
Malang, 29 Oktober 2018
Penulis,

Dalendra Kardina
NIM. 145080600111015

DAFTAR ISI

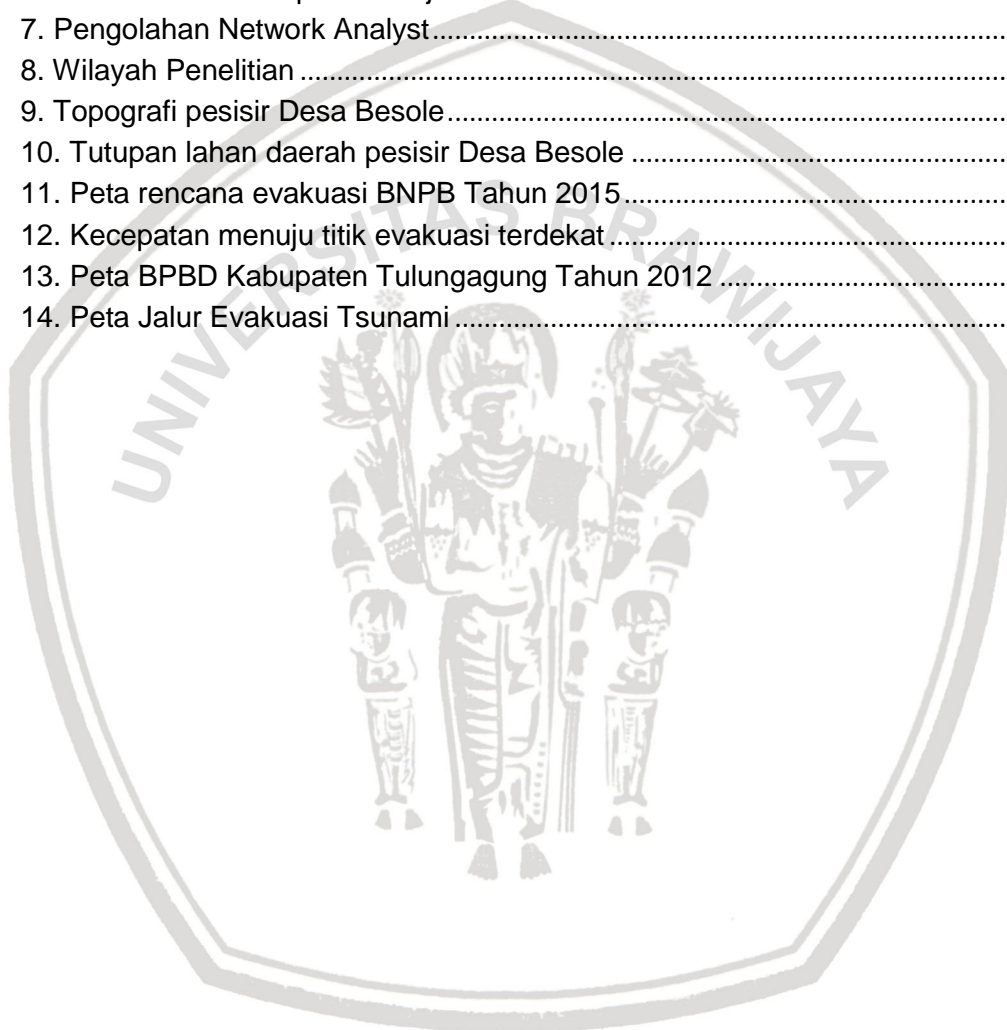
	Halaman
RINGKASAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Tempat, Waktu/Jadwal Pelaksanaan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tsunami	5
2.2. Mitigasi Bencana Tsunami	5
2.3. Sistem Informasi Geografis	6
2.4. Pemanfaatan SIG Dalam Mitigasi Bencana Tsunami	7
2.5. Jalur Evakuasi Bencana Tsunami	8
2.6. Metode <i>Network Analyst</i> Dalam Sistem Informasi Geografis	9
3. METODE PENELITIAN	11
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	11
3.2. Alat dan Data Penelitian	12
3.2.1. Alat	12
3.2.2. Data	12
3.3. Alur Penelitian	13
3.4. Pengolahan Data	15
3.4.1. Metode Analisis	15
3.4.2. Metode Pengambilan Sampel	16
3.4.3. Metode Pengolahan Data	16
3.4.4. Topografi	17
3.4.5. Tutupan Lahan (<i>Land Cover</i>)	18
3.4.6. Data Jaringan Jalan	19

3.4.7. Titik Evakuasi yang Disarankan dan Waktu Tempuh Titik Evakuasi	20
3.4.8. Metode <i>Network Analyst</i>	22
3.5. Survei Lapang Kondisi dan Lebar Jalan	22
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1. Kondisi Wilayah Penelitian	24
4.2. Topografi Desa Besole	25
4.3. Tutupan Lahan Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung	27
4.4. Data Penduduk Desa Besole	29
4.5. Titik Evakuasi Tsunami yang Sudah Ada	31
4.6. Sebaran Titik Evakuasi Tsunami dan Jalur Evakuasi Tsunami	34
4.7. Analisis Titik Evakuasi Tsunami dan Jalur Evakuasi Tsunami	35
5. PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	43



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian.....	11
2. Alur Penelitian	14
3. Pengolahan data Topografi.....	18
4. Pengolahan data tutupan lahan.....	19
5. Pengolahan data jaringan jalan	20
6. Ilustrasi waktu tempuh menuju titik evakuasi	21
7. Pengolahan Network Analyst.....	22
8. Wilayah Penelitian	24
9. Topografi pesisir Desa Besole	26
10. Tutupan lahan daerah pesisir Desa Besole	28
11. Peta rencana evakuasi BNPB Tahun 2015.....	33
12. Kecepatan menuju titik evakuasi terdekat	36
13. Peta BPBD Kabupaten Tulungagung Tahun 2012	37
14. Peta Jalur Evakuasi Tsunami	38



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat-alat dan perangkat yang digunakan	12
2. Data-data yang digunakan	13
3. Klasifikasi ketinggian berdasarkan elevasi	17
4. Luasan Tutupan Lahan	27
5. Jumlah penduduk tiap desa Kecamatan Besuki.....	29
6. Jumlah penduduk Desa Besole	30
7. Koordinat Titik Evakuasi yang Disarankan	34



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Prediksi Potensi Tsunami Indonesia PERKA BNPB No. 04 Tahun 2012.....	43
2. Dokumentasi Tracking dan Ground Check.....	44
3. Survei Kantor BPBD Kab. Tulungagung dan Tracking jalur evakuasi.....	46



1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teluk Popoh merupakan daerah di sepanjang pesisir pantai di sebelah selatan Kabupaten Tulungagung dan secara administratif berada di Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Kawasan pesisir Kabupaten Tulungagung mempunyai potensi perikanan yang cukup besar dan sangat menunjang perikanan laut seperti adanya Tempat Pelelangan Ikan di Pantai Popoh, Kecamatan Besuki. TPI tersebut dikelola oleh KUD MINA KARYA yang dapat membantu meningkatkan kesejahteraan nelayan dan meningkatkan taraf hidup anggotanya. Namun, kawasan pesisir Kabupaten Tulungagung termasuk wilayah peka atau rawan bencana. Pesisir Kabupaten Tulungagung juga termasuk wilayah kritis di Kabupaten Tulungagung khususnya untuk wilayah rawan banjir. Hal tersebut dikarenakan adanya wilayah dengan ketinggian kurang dari 25 meter di atas permukaan air laut (kelerengan 2-15%). Selain itu, karena terdapatnya faktor pembatas alam berupa bentuk-bentuk batuan dalam tanah yang relatif sulit menyerap air (tanah *clay*). Berdasarkan keadaan tersebut di atas dapat diindikasikan beberapa kawasan yang juga mempunyai kecenderungan terjadinya erosi akibat dari penggerusan oleh air terutama air hujan dengan curah hujan yang lebat kecuali pada wilayah yang tidak terkena erosi. Berikut beberapa kawasan rawan bencana yang ada di Kabupaten Tulungagung, yaitu Desa Kebolereng (Pantai Nglarap, Klatak dan Bayeman), Desa Ngrejo (Pantai Brumbun dan Gerangan), Desa Kalibatur (Pantai Sine) dan Desa Besole (Pantai Sidem dan Popoh) (Bappeda, 2013).

Berdasarkan data indeks risiko gempa bumi per kabupaten 2011 Kabupaten Tulungagung termasuk kelas risiko sedang. Data prediksi ketinggian

tsunami maksimum untuk Kabupaten atau Kota Tulungagung adalah 11 meter dengan waktu kedatangan tsunami selama 29 menit (PERKA BNPB No. 4 Tahun 2012). Ditinjau dari kondisi fisiknya, kawasan pesisir Kabupaten Tulungagung merupakan kawasan dengan fungsi perlindungan (perlindungan sempadan pantai) dan rawan bencana alam (rawan tsunami) sehingga perlu adanya mitigasi bencana, salah satunya jalur evakuasi bencana tsunami (Bappeda, 2013).

Jalur evakuasi bencana tsunami merupakan aspek yang penting untuk memvisualisasikan strategi yang dikembangkan oleh suatu daerah. Jalur evakuasi yang baik adalah jalur yang aman serta tidak ada titik-titik barier yang banyak ketika penduduk dievakuasikan ke tempat yang aman walau hanya ke tempat evakuasi sementara bahkan ke tempat evakuasi akhir (Syam, 2016). Sesuai dengan Undang - Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, suatu wilayah di sebuah negara atau kota yang rentan terkena bencana tsunami selayaknya memiliki tindakan mitigasi untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan. Penanggulangan bencana dapat dilakukan adalah dengan membuat dokumen mitigasi bencana seperti pembuatan peta risiko, peta evakuasi maupun penyuluhan kepada masyarakat melalui media (Mudin *et al.*, 2015).

Sistem Informasi Geografis merupakan sebuah sistem yang terdiri dari *software* dan *hardware*, data dan pengguna serta institusi untuk menyimpan data yang berhubungan dengan semua fenomena yang ada di muka bumi. Data-data yang berupa detail fakta, kondisi dan informasi disimpan dalam suatu basis data dan akan digunakan untuk berbagai macam keperluan seperti analisis, manipulasi, penyajian dan sebagainya (Hamidi, 2012).

Pemetaan jalur evakuasi dengan menggunakan SIG membantu memudahkan untuk membuat peta yang menyajikan informasi baru berupa jalur

evakuasi yang dapat dilalui pada saat akan terjadi tsunami (Nurfaida, 2016). Dalam membangun Sistem Informasi Geografis (SIG) jalur evakuasi, hal mendasar yang perlu dipersiapkan adalah ketersediaan data yang digunakan saat proses pencarian rute. Data yang telah dikumpulkan akan diproses menggunakan *network analyst* sehingga memberikan informasi berupa data berbasis geografis (Pramudya dan Subiyanto, 2015).

1.2. Rumusan Masalah

Teluk Popoh di Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung memiliki daerah pesisir dengan pantai yang termasuk daerah pariwisata pantai di Provinsi Jawa Timur. Berdasarkan Draf Profil Kesiapsiagaan Menghadapi Tsunami Kabupaten Tulungagung dan BPBD Kabupaten Tulungagung, Pantai-pantai di teluk, TPI Popoh, PLTA Tulungagung dan pemukiman penduduk termasuk titik utama rentan bencana tsunami karena jika terjadi tsunami jumlah korban jiwa termasuk besar. Pemetaan jalur evakuasi tsunami sebagai acuan dalam menentukan langkah mitigasi bencana bagi penduduk dan pengunjung dari berbagai daerah merupakan langkah penting untuk meminimalkan korban bencana. Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk mengetahui bagaimana efektivitas dalam pemetaan jalur evakuasi bencana tsunami di Teluk Popoh, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung.

1.3. Tujuan

Memetakan jalur evakuasi bencana tsunami dan analisis pemetaan jalur evakuasi bencana tsunami berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG).

1.4. Manfaat

Menambah informasi tambahan dalam mitigasi bencana dan informasi tambahan dalam penelitian mengenai SIG selanjutnya.

1.5. Tempat, Waktu/Jadwal Pelaksanaan

Kegiatan penelitian mengenai Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Teluk Popoh, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung Berbasis Sistem Informasi Geografis dilakukan di Teluk Popoh, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung. Penelitian ini dimulai pada Juli 2018 hingga Oktober 2018, setelah itu dilakukan analisis data serta penyusunan laporan skripsi.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tsunami

Kata Tsunami berasal dari bahasa Jepang, yaitu *tsu* yang berarti pelabuhan dan *nami* berarti gelombang. Kata tersebut menjelaskan gelombang pasang yang memasuki pelabuhan. Apabila di laut lepas terjadi gelombang pasang sebesar 8 meter, tetapi begitu memasuki daerah pelabuhan yang menyempit tinggi gelombang pasang berubah menjadi 30 meter. Tsunami biasa terjadi jika gempa bumi berada di dasar laut dengan pergerakan vertikal yang cukup besar. Namun, tsunami juga bisa terjadi jika terjadi letusan gunung api di laut atau terjadi longsor di laut (Nur, 2010).

Indonesia termasuk salah satu zona yang paling aktif dalam hal gempa bumi sehingga memiliki tingkat probabilitas kejadian tsunami yang tinggi. Diperkirakan sekitar 75% dari garis pantai Indonesia rentan terhadap kejadian tsunami. Karena terjadi pertemuan beberapa lempeng yang bergerak dengan kecepatan yang relatif sangat tinggi (Benazir *et al.*, 2016).

Magnitudo Tsunami yang terjadi di Indonesia berkisar antara 1,5-4,5 skala Imamura, dengan tinggi gelombang Tsunami maksimum yang mencapai pantai berkisar antara 4 - 24 meter dan jangkauan gelombang ke daratan berkisar antara 50 sampai 200 meter dari garis pantai. Berdasarkan Katalog gempa (1629 - 2002) di Indonesia pernah terjadi tsunami sebanyak 109 kali, yakni satu kali akibat longsor (*landslide*), sembilan kali akibat gunung berapi dan 98 kali akibat gempa bumi tektonik (Daoed *et al.*, 2013).

2.2. Mitigasi Bencana Tsunami

Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan

menghadapi ancaman bencana. Kegiatan mitigasi dapat dilakukan melalui pelaksanaan penataan ruang, pengaturan pembangunan, infrastruktur, tata bangunan dan penyelenggaraan pendidikan, penyuluhan serta pelatihan baik secara konvensional maupun modern (UU No. 24 Tahun 2007 BAB 1 Pasal 1 Ayat 9 dan BAB 7 Pasal 47 Ayat 2 Tentang Penanggulangan Bencana).

Salah satu mitigasi bencana tsunami secara struktural adalah membangun bangunan *shelter*. Bangunan *shelter* adalah fasilitas umum yang apabila terjadi bencana tsunami atau bencana yang lain digunakan untuk evakuasi pengungsi, namun bisa digunakan pula untuk fasilitas umum yang lain misalnya untuk tempat rekreasi atau ibadah atau yang lainnya, apabila tidak terjadi bencana. Syarat bangunan *shelter* adalah bangunan tingkat yang tahan gempa, tahan tsunami dan bisa menampung banyak orang. Bangunan *shelter* diharapkan juga mempunyai fungsi sekunder saat tidak terjadi bencana (Yuhanah, 2014).

2.3. Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis itu sendiri diartikan sebagai sistem informasi yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, memanggil kembali, mengolah, menganalisis dan menghasilkan data bereferensi geografis atau data geospasial, untuk mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengelolaan penggunaan lahan, sumber daya alam, lingkungan transportasi, fasilitas kota, dan pelayanan umum lainnya (Sigit *et al.*, 2011).

Aplikasi penginderaan jauh dan SIG digunakan untuk memetakan distribusi area kerusakan akibat bencana dan menilai area kerentanan. SIG melalui analisis multi kriteria spasial membantu dalam membuat prioritas yang terkait dengan proses pengambilan keputusan menggunakan data georeferensi. Selain preferensi pengambil keputusan yang terkait dengan evaluasi parameter,

analisis multi kriteria spasial membutuhkan informasi tentang atribut kriteria dan referensi geografis. Metode SIG telah diterapkan untuk pemetaan tsunami dan dilapis dengan peta penggunaan lahan, menganalisis risiko tsunami menggunakan pendekatan multi skenario, menganalisis kerentanan menggunakan data penginderaan jauh dan analisis terpadu menggunakan GIS ke fisik yang dibangun infrastruktur, yaitu bangunan, dan mengidentifikasi daerah genangan berdasarkan kontur dan catatan tertinggi peristiwa tsunami yang terkait dengan kerentanan bangunan dan kerentanan manusia (Sambah dan Miura, 2014).

2.4. Pemanfaatan SIG Dalam Mitigasi Bencana Tsunami

Perkembangan teknologi informasi, baik perangkat keras maupun lunak salah satunya SIG (Sistem Informasi Geografis) dapat menjadi solusi dari berbagai permasalahan yang menyangkut keruangan. Teknologi SIG mengintegrasikan operasi basis data dan analisis statistik dengan visualisasi yang unik serta analisis spasial yang ditawarkan melalui bentuk peta digital. Kemampuan tersebutlah yang membedakan SIG dengan Sistem Informasi lain, sehingga membuat SIG lebih bermanfaat dalam memberikan informasi yang mendekati kondisi dunia nyata, memprediksi suatu hasil, dan untuk perencanaan strategis (Sunardi *et al.*, 2012). SIG dapat dimanfaatkan untuk mengetahui daerah rawan bencana dapat membantu menentukan wilayahnya. Misalkan untuk wilayah Jawa, sangat berpotensi Gempa karena dilalui oleh lempeng samudra dan benua. Jawa juga merupakan daerah busur dalam vulkanik atau darah yang memiliki banyak gunung api yang aktif. Wilayah selatan Jawa berpotensi gempa dan tsunami. Oleh karena itu dengan memanfaatkan SIG dapat mengurangi dan bersiaga terhadap ancaman bencana tersebut. Peta Bencana Berbasis SIG, Sistem Informasi Geografi adalah suatu sistem yang

diaplikasikan untuk memperoleh, menyimpan, menganalisis dan mengelola data yang terkait dengan atribut, secara spasial. Pada kondisi yang lebih umum, SIG adalah cara yang memudahkan pengguna untuk membuat query interaktif, menganalisis informasi spasial dan mengedit data. Ilmu informasi geografis adalah ilmu yang menggabungkan antara penerapan dengan sistem (BPBD Probolinggo, 2016).

2.5. Jalur Evakuasi Bencana Tsunami

Jalur evakuasi horizontal tsunami adalah salah satu solusi dalam menghadapi masa tanggap darurat apabila telah terjadi gempa bumi di laut yang berpotensi menghasilkan gelombang tinggi atau tsunami (Syukri, 2016). Jalur evakuasi tsunami sangat berpengaruh dalam keberhasilan evakuasi pengungsi. Ketersediaan jalan yang memadai untuk memfasilitasi evakuasi terhadap gelombang tsunami sangat bergantung pada kondisi dan lebar jalan serta transportasi yang digunakan. Karena transportasi yang ditentukan digunakan untuk mencapai tempat yang lebih tinggi dan ketersediaan bangunan evakuasi yang aman.

Penentuan jalur evakuasi tsunami diolah dengan metode *Network Analyst* menggunakan parameter-parameter yakni, titik evakuasi, jaringan jalan, data topografi dan tutupan lahan. Parameter lain yang digunakan menentukan efektivitas titik dan jalur evakuasi adalah lebar jalan, kondisi jalan, dan waktu tempuh menuju titik evakuasi. Peta ketinggian tempat adalah parameter yang digunakan untuk menentukan titik evakuasi atau *shelter* yang akan dituju oleh penduduk saat sebelum terjadinya tsunami yaitu berada pada ketinggian >15 meter di atas permukaan laut. Peta jaringan jalan juga menjadi parameter karena di dalam atribut peta jaringan jalan terdapat kelas jalan, lebar jalan dan panjang

jalan sehingga pembuatan peta jalur evakuasi akan memperhitungkan panjang jalur yang akan ditempuh oleh penduduk (Nurfaida, 2016).

2.6. Metode *Network Analyst* Dalam Sistem Informasi Geografis

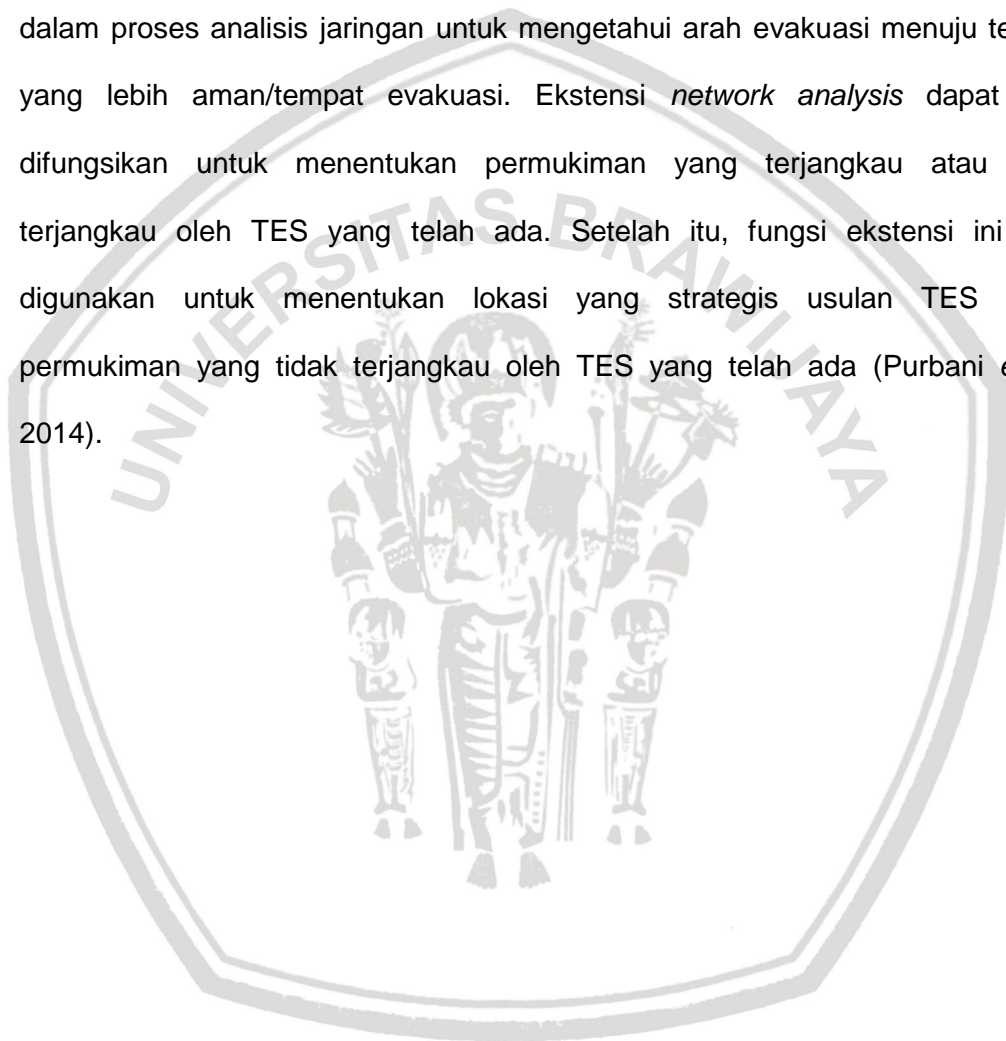
Analisis Jaringan ArcGIS adalah ekstensi yang kuat yang menyediakan analisis spasial berbasis jaringan termasuk *routing*, petunjuk perjalanan, fasilitas terdekat, dan analisis area layanan. Analisis Jaringan ArcGIS memungkinkan pengguna untuk secara dinamis memodelkan kondisi jaringan yang realistis, termasuk pembatasan belokan, batas kecepatan, pembatasan ketinggian, dan kondisi lalu lintas pada waktu yang berbeda sepanjang hari. Pengguna dengan ekstensi *Network Analyst* dapat: Menemukan rute perjalanan yang efisien, menentukan fasilitas atau kendaraan mana yang paling dekat, memberikan petunjuk perjalanan, dan menemukan area layanan di sekitar situs (ESRI, 2006).

Jalur antara dua simpul yang meminimalkan metrik yang telah ditentukan sebelumnya seperti jumlah langkah, jarak total atau waktu, disebut jalur terpendek. Penentuan jalur terpendek sering digambarkan sebagai analisis jalur terpendek. Untuk menentukan cara terbaik, seseorang membutuhkan setidaknya asal dan tujuan. Masalah mengidentifikasi jalur terpendek di sepanjang jaringan jalan adalah masalah mendasar dalam analisis jaringan, mulai dari panduan rute dalam sistem navigasi hingga pemecahan masalah alokasi spasial (Parveen dan Kumar, 2016).

Analisis Jaringan memungkinkan pengguna untuk secara dinamis memodelkan kondisi jaringan yang realistis, termasuk pembatasan belokan, batas kecepatan, pembatasan ketinggian, dan kondisi lalu lintas pada waktu yang berbeda dalam satu hari. Hal tersebut sangat membantu untuk Teknik Transportasi dan Perencanaan. Ketika begitu banyak parameter dihubungkan dengan jaringan transportasi seperti waktu perjalanan, kecepatan, ketahanan

jalan, gerakan balik, dll. Penggunaan pada jaringan besar seperti itu, SIG membuktikan sebagai alat yang efisien untuk memecahkan masalah jaringan dengan cepat dan dengan ketepatan yang tinggi (Elhag *et al.*, 2016).

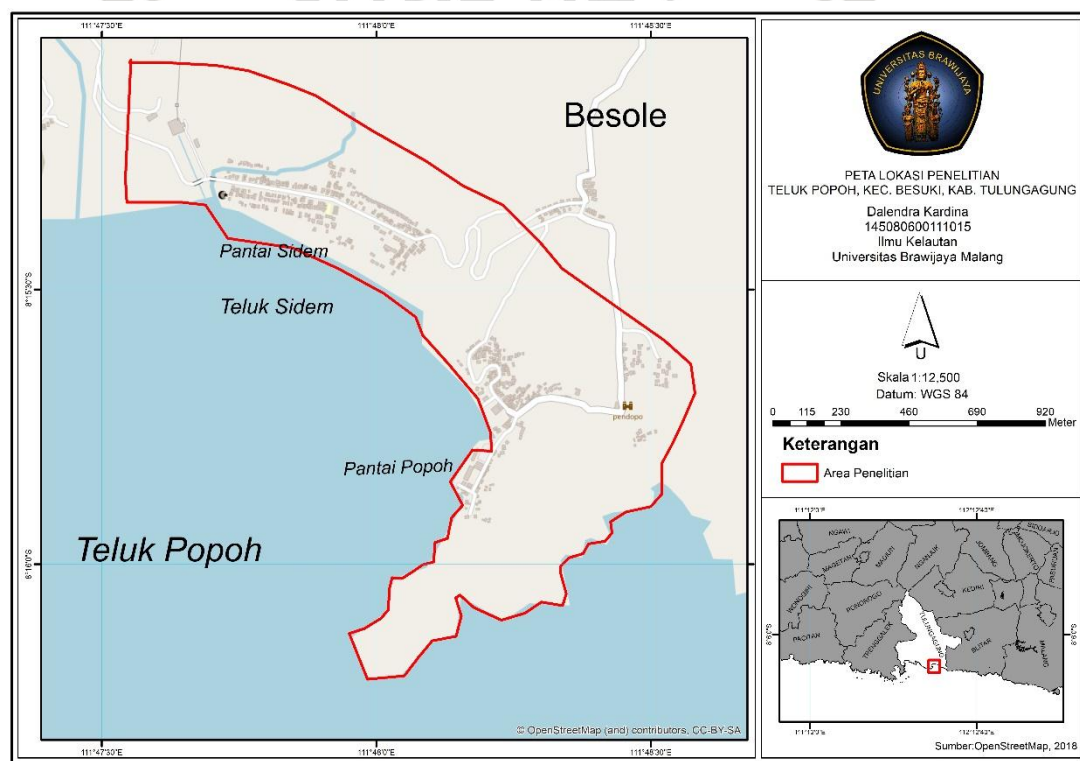
Ekstensi *network analysis* berfungsi untuk menentukan wilayah jangkauan (*service area*) suatu titik dari jarak yang ditentukan menurut ketersediaan jaringan jalan/aksesibilitas. Data jaringan jalan sangat dibutuhkan dalam proses analisis jaringan untuk mengetahui arah evakuasi menuju tempat yang lebih aman/tempat evakuasi. Ekstensi *network analysis* dapat juga difungsikan untuk menentukan permukiman yang terjangkau atau tidak terjangkau oleh TES yang telah ada. Setelah itu, fungsi ekstensi ini juga digunakan untuk menentukan lokasi yang strategis usulan TES untuk permukiman yang tidak terjangkau oleh TES yang telah ada (Purbani *et al.*, 2014).



3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi pada penelitian ini terletak di daerah Teluk Popoh, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung. Daerah tersebut memiliki beberapa pantai yang ditujukan sebagai tempat pariwisata dan beberapa tempat penting seperti PLTA dan TPI. Survei dilakukan pada bulan Agustus dan analisis data dilakukan bulan September sampai Oktober. Berikut di bawah ini merupakan peta lokasi dan area penelitian di pesisir Desa Besole yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

3.2. Alat dan Data Penelitian

3.2.1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Teluk Popoh Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung Berbasis Sistem Informasi Geografis dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat-alat dan perangkat yang digunakan

No.	Alat	Spesifikasi	Kegunaan
1.	<i>Global Positioning System (GPS)</i>	Peta jalan yang telah dimuat, Termasuk pembaruan peta lifetime, Garansi <i>nüMaps</i> , Pandangan dataran 3-D, Pandangan bangunan dan landmark 3-D, Memori bawaan, Menerima kartu data, Titik arah/favorit/lokasi.	Menentukan dan mengetahui setiap letak titik koordinat saat melakukan <i>ground check</i>
2.	Kamera	16MP kamera, f/2.0 aperture, 6 P <i>Largan lens</i>	Dokumentasi foto saat survei lapang
3.	Notebook	Core i5-6200U, RAM 4GB & Sistem Operasi Windows 10 Home	Mengolah data yang digunakan dalam pembuatan peta jalur evakuasi bencana tsunami
4.	Perangkat Lunak: • ArcGIS 10.4 • QGIS 2.18 • Google Earth Pro	<ul style="list-style-type: none"> <i>Vector Tiles, Local Scenes, Spatial analytics now included with ArcGIS for Server, New Imagery formats, Disaster Recovery, etc.</i> <i>Use advanced GIS data importing features to your advantage, Measure area, radius and circumference on the ground, Print high-resolution screenshots, Make compelling offline movies to share.</i> 	Perangkat lunak pengolah data penginderaan jauh dan data survei lapangan
5.	Rol meter	Panjang mulai 5-50 meter	Alat untuk mengukur lebar jalan

3.2.2. Data

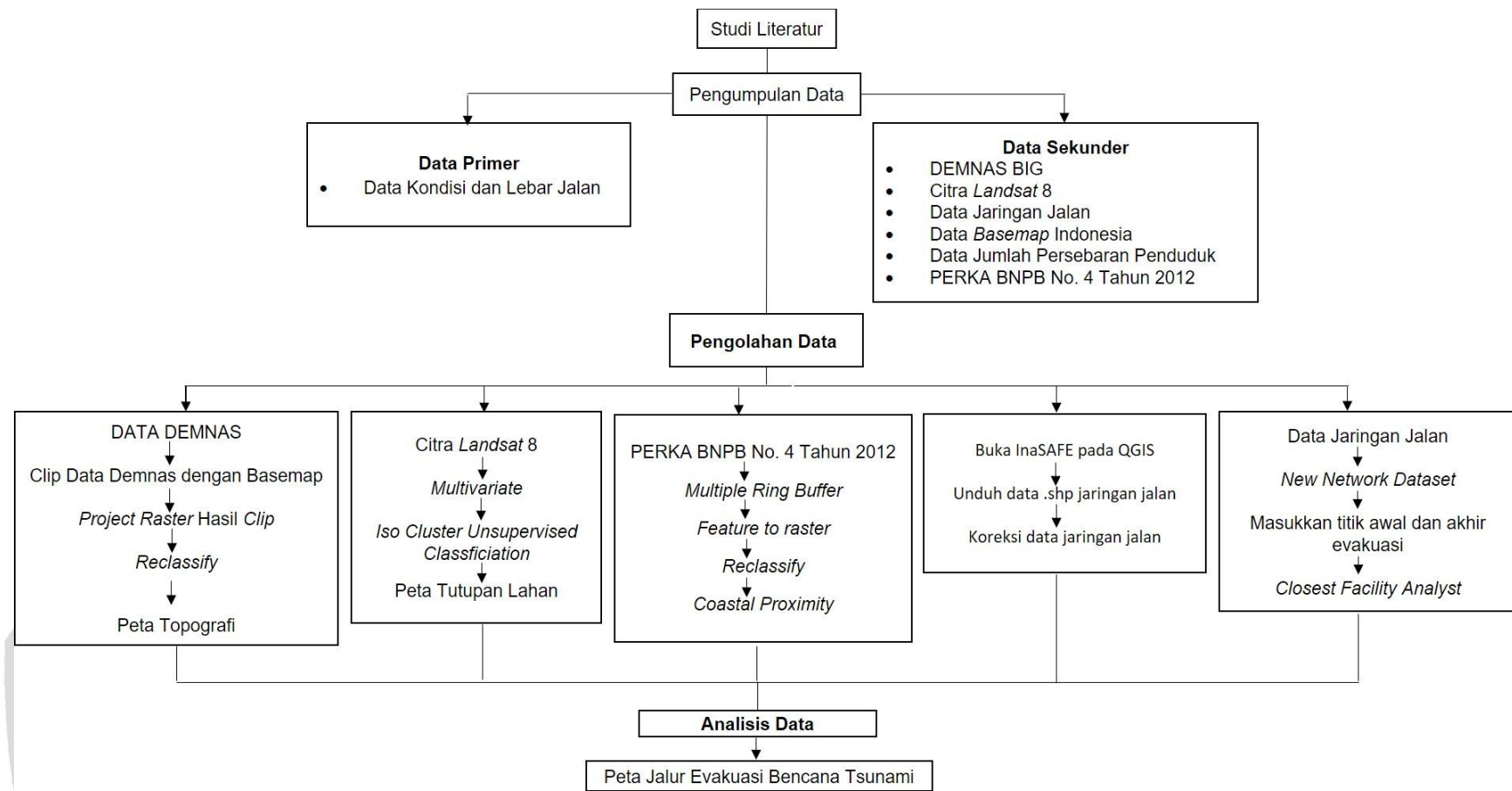
Data-data yang digunakan dalam penelitian Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Teluk Popoh, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung Berbasis Sistem Informasi Geografis dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data-data yang digunakan

No.	Data	Resolusi Spasial	Sumber
1.	Peta Rupa Bumi Indonesia (BIG)	-	Ina-Geoportal (http://portal.ina-sdi.or.id/geoportal/)
2.	Data jaringan jalan	-	InaSAFE QGIS
3.	Data jumlah dan persebaran penduduk	-	BPS Kabupaten Tulungagung
4.	Data Prediksi <i>Run Up</i> Tsunami	-	PERKA BNPB No. 4 Tahun 2012
5.	<i>Seamless Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional</i>	2,092 meter	DEMNAS BIG (http://tides.big.go.id/DEMNAS/)
6.	<i>Landsat 8</i>	30 meter	USGS <i>EarthExplorer</i> (https://earthexplorer.usgs.gov/)

3.3. Alur Penelitian

Skema kerja penelitian tentang Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Teluk Popoh, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung Berbasis Sistem Informasi Geografis dapat dijelaskan dalam diagram alir yang ditampilkan pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Alur Penelitian

3.4. Pengolahan Data

Proses pengolahan data dalam penelitian mengenai Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Teluk Popoh, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung Berbasis Sistem Informasi Geografis di antaranya adalah sebagai berikut.

3.4.1. Metode Analisis

Analisis spasial dilakukan pada data DEMNAS BIG (*Seamless Digital Elevation Model* (DEM) dan Batimetri Nasional) dengan ekstraksi untuk memperoleh informasi tentang ketinggian daerah penelitian (Elevasi), kemudian menganalisis kemiringan lereng daerah penelitian sehingga didapatkan informasi lokasi dengan lereng terjal yang dapat menahan gelombang tsunami dengan bantuan *slope* di *tools* analisis spasial. Citra satelit *Landsat 8* dianalisis untuk mendapatkan informasi tutupan lahan (*Land Cover*). Namun, untuk kasus di Desa Besole dimana wilayah pesisir dan pantai yang tidak landai sehingga lebih tepat berdasarkan elevasi daripada *Coastal Proximity*. Setelah analisis mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tsunami, dihasilkan berupa peta ketinggian daerah penelitian, peta kemiringan lereng daerah penelitian, peta jarak dari garis pantai (Saputra *et al.*, 2014). Peta-peta tersebut digunakan sebagai parameter untuk menentukan jalur evakuasi tsunami dengan bantuan perangkat lunak ArcGIS 10.4. Pengolahan data untuk mendapatkan jalur evakuasi tsunami menggunakan *tools* berupa *Network Analyst*. *Network Analyst* berfungsi untuk mendapatkan jalur yang efektif dari informasi berbentuk data-data spasial maupun non spasial yang berkaitan dengan jaringan jalan atau transportasi. Tujuan analisis ini adalah mengolah data dari masukan, mendesain *database* spasial dan non spasial yang diperlukan untuk analisis penentuan rute terdekat, tercepat dan termurah (Muslim, 2005).

3.4.2. Metode Pengambilan Sampel

Dalam penentuan titik sampel untuk uji lapangan perlu memperhatikan sistem atau cara pelaksanaan uji lapangan agar setiap kelas dapat terwakili (Saputra *et al.*, 2014). Pelaksanaan uji lapang dilakukan untuk mengecek dan memverifikasi kondisi dan lebar jalan. Kondisi jalan menentukan kelayakan jalan tersebut untuk digunakan sebagai jalur evakuasi. Lebar jalan untuk mengetahui berapa jumlah orang dewasa yang dapat melintas di jalur tersebut.

3.4.3. Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan bantuan komputer dan perangkat lunak ArcGIS 10.4. Pengolahan data (Citra *Landsat* 8, DEMNAS BIG dan peta rupa bumi Indonesia) untuk menyusun parameter-parameter yang selanjutnya dilakukan pengolahan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.4 sehingga menghasilkan peta jalur evakuasi tsunami. Secara garis besar, langkah-langkah yang digunakan meliputi tahap-tahap sebagai berikut.

Ekstraksi data spasial dari citra satelit, peta rupa bumi, DEM dan data pendukung lainnya. Data DEM diperoleh dari DEMNAS BIG 2018 diolah dengan bantuan perangkat lunak ArcGIS 10.4 menggunakan reklasifikasi berdasarkan variasi tingkat ketinggian tempat. Data jarak dari garis pantai diolah menggunakan peta dasar lokasi penelitian dan dibantu dengan *toolbox multiple ring buffer* yang ada pada perangkat lunak Arcgis 10.4. Data tutupan lahan diolah melalui ArcGIS 10.4 dengan proses *Maximum Likelihood Classification*, data yang digunakan adalah Citra *Landsat* 8. Penentuan jalur evakuasi tsunami dilakukan dengan melaksanakan metode *Network Analyst*.

Metode *Network Analyst* dilakukan dengan memasukkan parameter yang dibutuhkan untuk menganalisis jalur tersebut. Pengolahan data dalam menentukan jalur evakuasi tsunami menggunakan data jaringan jalan dalam

bentuk *shapefile* dan dimasukkan ke dalam *new network dataset*. Mengaktifkan *network dataset* sebagai pembuatan jalur evakuasi, ketika *network dataset* telah terbentuk baru masukkan titik awal insiden ke titik akhir fasilitas. Pada *Network dataset tools* dipilih *closest facility analyst* dengan menggunakan satu titik insiden yaitu titik awal sehingga menghasilkan satu jalur evakuasi yang sesuai dengan parameter yang telah diolah (Nurfaida, 2016).

3.4.4. Topografi

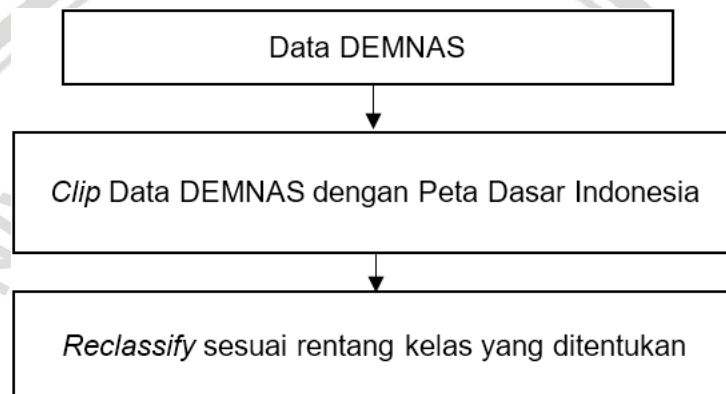
Peta topografi adalah peta yang memuat informasi umum mengenai keadaan permukaan tanah beserta informasi ketinggiannya menggunakan garis kontur (garis pembatas bidang yang merupakan tempat kedudukan titik-titik dengan ketinggian sama terhadap bidang referensi tertentu) (Rostianingsih *et al.*, 2004). Data sekunder berupa data elevasi yang digunakan dalam penelitian ini dapat diunduh melalui situs <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>. Pengolahan data melalui aplikasi ArcGIS 10.4 dengan data yang digunakan berupa DEMNAS BIG. Pengolahan data topografi menggunakan reklasifikasi berdasarkan variasi tingkat ketinggian tempat. Pembuatan rentang kelas dari nilai elevasi disebut juga reklasifikasi seperti pada Tabel 3. Hasil dari pengolahan data topografi dapat digunakan sebagai data acuan untuk menentukan titik atau daerah aman yang digunakan sebagai tempat evakuasi bencana tsunami.

Tabel 3. Klasifikasi ketinggian berdasarkan elevasi

Elevasi (m)	Kelas Kerentanan
<5	Tinggi
5 – 10	Cukup Tinggi
10 – 15	Sedang
15 – 20	Cukup Rendah
>20	Rendah

Sumber: (Sambah dan Miura, 2014).

Data prediksi ketinggian tsunami maksimum berdasarkan PERKA BNPB No. 4 Tahun 2012 untuk Kabupaten atau Kota Tulungagung adalah 11 meter. Mengacu pada data prediksi ketinggian tsunami maksimum dari BNPB maka, dalam penelitian ini akan dibagi menjadi beberapa rentang kelas pada proses reklasifikasi. Setiap kelas menunjukkan tingkatan kerentanan tsunami yang berbeda. Semakin tinggi ketinggian maka tingkat kerentanan tsunami semakin rendah dan sebaliknya. Proses pengolahan data topografi dapat penelitian dapat dilihat pada diagram alur pada Gambar 3 di bawah.



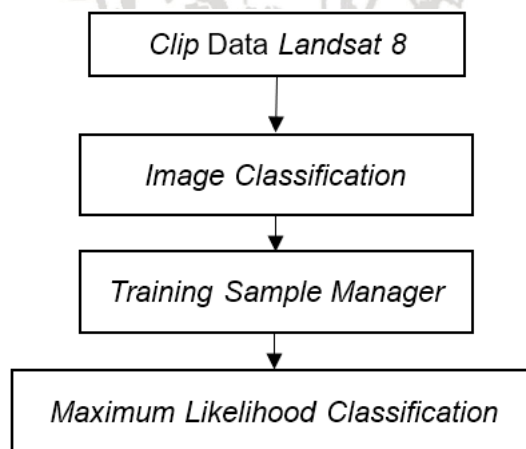
Gambar 3. Pengolahan data Topografi

3.4.5. Tutupan Lahan (*Land Cover*)

Tutupan lahan merupakan penampakan material fisik permukaan bumi, dapat menggambarkan keterkaitan antara proses alami dan proses sosial. Tutupan lahan menyediakan informasi yang sangat penting untuk keperluan pemodelan serta untuk memahami fenomena alam yang terjadi di permukaan bumi (Sampurno dan Thoriq, 2016). Pembuatan peta tutupan lahan, dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh, misalnya dengan menganalisis citra satelit. Citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Landsat 8*.

Pengolahan data tutupan lahan dalam penelitian ini menggunakan data Citra *Landsat 8* yang selanjutnya diolah menggunakan ArcGIS 10.4. Klasifikasi

tutupan lahan yang ditentukan sesuai dengan tutupan lahan dari data terbaru. Data yang diolah di ArcGIS menggunakan *tool Iso Cluster Unsupervised* untuk mengetahui bagaimana tutupan lahan yang ada. Apabila telah melakukan survei lapang dan mengetahui kenampakan sebenarnya dapat menggunakan *tool Clip* pada daerah yang diolah kemudian pilih *Image Classification* untuk membuat *polygon* atau area tiap kelas. Kelas-kelas yang telah dibuat akan muncul pada *Training Sample Manager* untuk bisa disatukan menjadi kelas-kelas tersendiri pilih *Merge Training Sample* kemudian menggunakan *Maximum Likelihood Classification* untuk menetapkan masing-masing *pixel* ke dalam kelas-kelas berbeda bergantung pada sarana dan variasi dari tanda kelas-kelas. Proses pengolahan data tutupan lahan pada penelitian dapat dilihat pada diagram alur pada Gambar 4 di bawah.



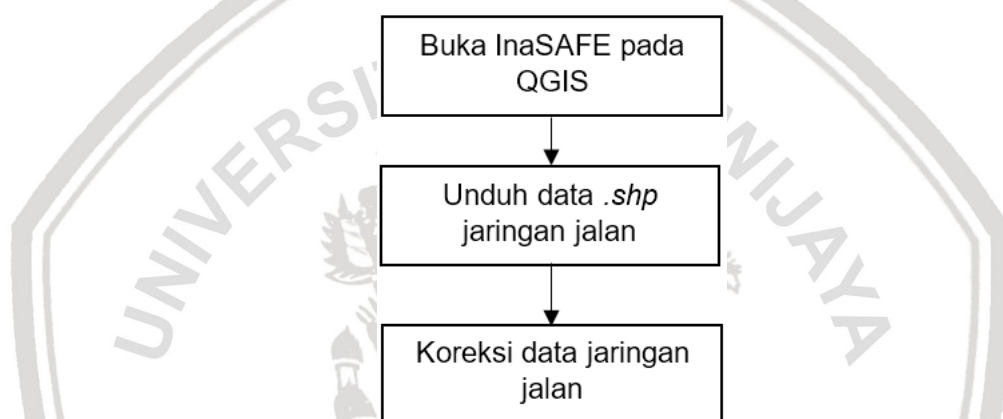
Gambar 4. Pengolahan data tutupan lahan

3.4.6. Data Jaringan Jalan

Jalan termasuk parameter untuk menentukan jalur evakuasi sehingga data yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari *tool InaSAFE* melalui perangkat lunak QGIS. Melalui pilihan *OpenStreetMap Downloader* di *InaSAFE* dapat menampilkan peta dan ketersediaan data jaringan jalan yang ada,

termasuk data terbaru dan mudah didapatkan. Setelah mendapatkan data *.shp* jalan maka koreksi data jaringan jalan dilakukan di ArcGIS 10.4.

Ketersediaan jalan yang memadai untuk memfasilitasi evakuasi terhadap gelombang tsunami sangat bergantung kepada moda transportasi yang digunakan dan kapasitas jalan yang digunakan untuk tempat yang lebih tinggi dan juga melihat adanya ketersediaan bangunan tinggi yang layak dijadikan potensi evakuasi secara vertikal (Syukri, 2016). Proses pengolahan data jaringan jalan pada penelitian dapat dilihat pada diagram alur pada Gambar 5 di bawah.



Gambar 5. Pengolahan data jaringan jalan

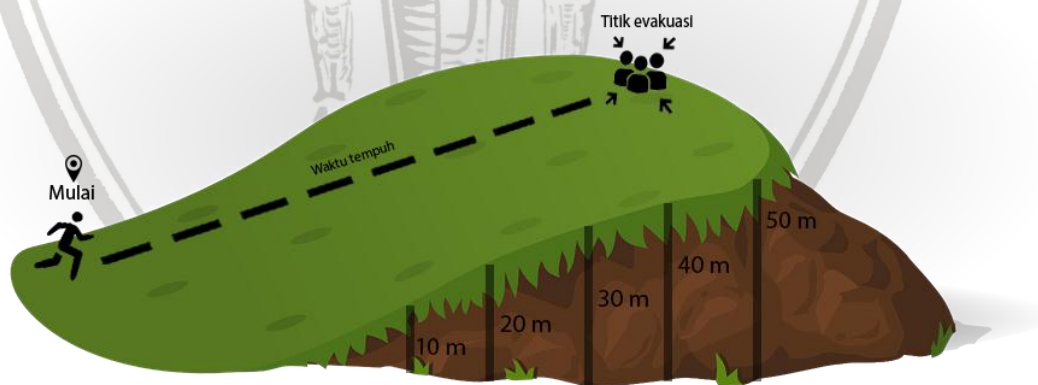
3.4.7. Titik Evakuasi yang Disarankan dan Waktu Tempuh Titik Evakuasi

Titik evakuasi adalah lokasi evakuasi tsunami yang difungsikan sebagai tempat berlindung. Titik evakuasi yang ditentukan selalu berada lebih tinggi dari prediksi *run up* tsunami. Penentuan titik evakuasi dipusatkan pada daerah-daerah yang padat penduduk dan memiliki banyak aktivitas seperti pada daerah pemukiman, PLTA Tulungagung dan TPI Popoh.

Titik evakuasi terbagi menjadi dua yaitu, TES (Titik Evakuasi Sementara) dan TEA (Titik Evakuasi Akhir). TES difungsikan sebagai lokasi evakuasi sementara dan tempat sementara bagi para penduduk ketika terjadi tsunami. TES hanya digunakan hingga gelombang tsunami atau genangan air surut. (Purbani *et al.*, 2014). Budiarjo (2006) dalam Purbani *et al.*, (2014), menjelaskan

bahwa kecepatan evakuasi = 0,751 m/detik (kecepatan berjalan manusia Lanjut Usia) Waktu proses evakuasi = 12 menit = 12 x 60 detik = 720 detik, Jarak dari TES $\leq 720 \text{ detik} \times 0,751 \text{ m/detik} = 540,72 \text{ m} = 541 \text{ m}$. TEA adalah lokasi evakuasi yang difungsikan sebagai tempat penduduk ketika terjadi gelombang tsunami yang tidak mengalami penyurutan. Umumnya warga bertahan di TEA minimal satu minggu bahkan lebih sampai menunggu kondisi wilayah permukiman mereka kondusif (Purbani *et al.*, 2014).

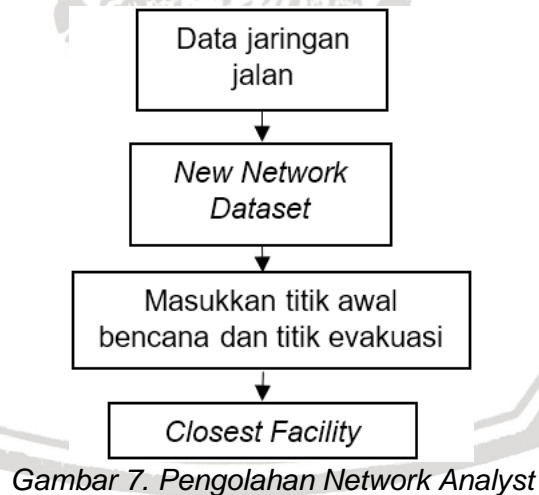
Titik dan jalur evakuasi yang dihasilkan melalui *tracking* menggunakan GPS. *Tracking* digunakan untuk menyimpan data jalur evakuasi dengan merekam koordinat dalam jarak yang ditentukan. Penelitian ini menggunakan simulasi menuju titik evakuasi menggunakan konversi kecepatan berlari orang dewasa dan orang tua, yaitu 1 kilometer ditempuh 6 menit dan 9 menit. Konversi kecepatan berlari tersebut dilakukan secara langsung di lapang yang ditampilkan dengan ilustrasi pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Ilustrasi waktu tempuh menuju titik evakuasi

3.4.8. Metode *Network Analyst*

Pembuatan peta jalur evakuasi tsunami menggunakan *tool network analyst* yang memudahkan menemukan jalur terdekat dari titik awal bencana ke titik kumpul atau sebaliknya dari titik kumpul ke titik awal bencana. Penggunaan *tool* dilakukan dengan memasukkan parameter yang dibutuhkan untuk menganalisis jalur tersebut. Pengolahan data dalam menentukan jalur evakuasi tsunami menggunakan data jaringan jalan dalam bentuk *shapefile* dan dimasukkan ke dalam *new network dataset*. Aktifkan *network dataset* untuk membuat jalur evakuasi, setelah terbentuk baru masukkan titik awal insiden ke titik akhir fasilitas. Pada *Network dataset tools* dipilih *closest facility analyst* dengan menggunakan satu titik insiden yaitu titik awal sehingga menghasilkan satu jalur evakuasi yang sesuai dengan parameter yang telah diolah (Nurfaida, 2016). Proses pengolahan metode *Network Analyst* pada penelitian dapat dilihat pada diagram alur pada Gambar 7 di bawah.



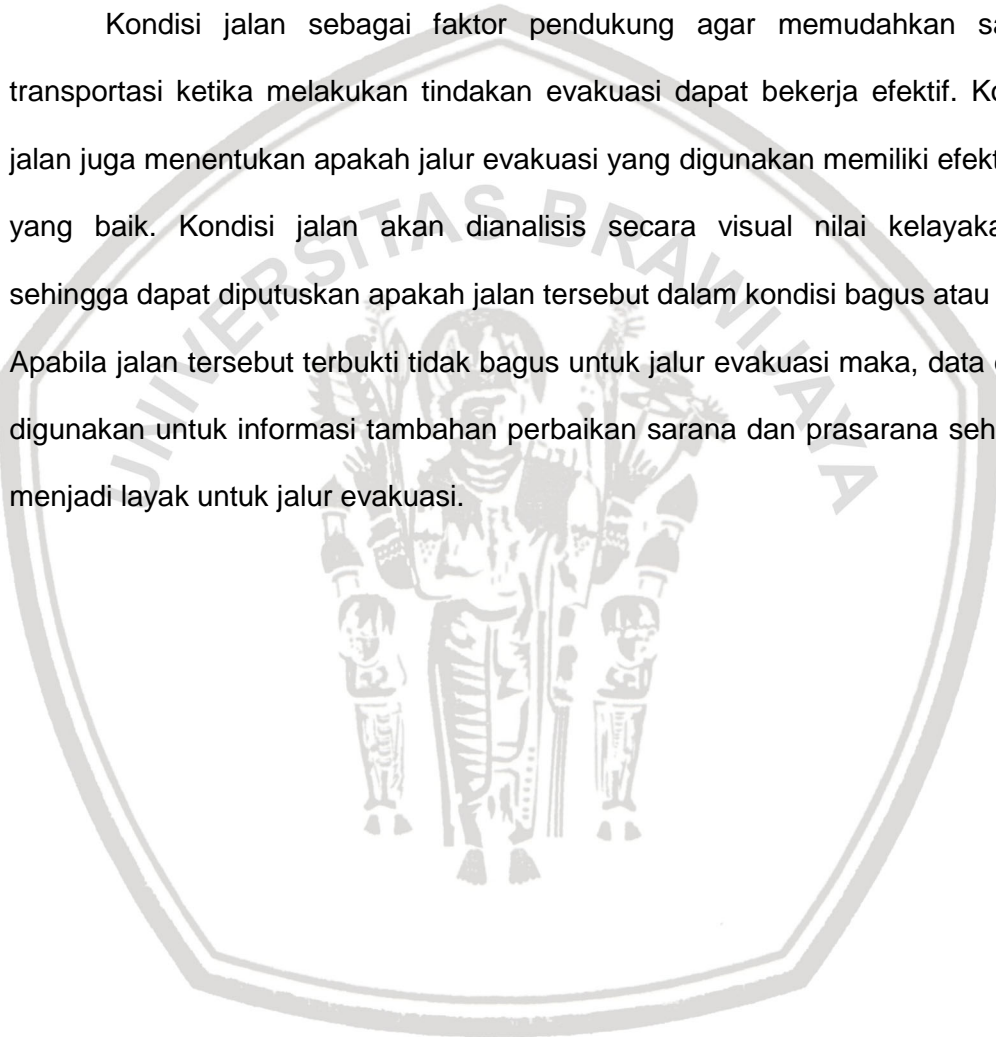
Gambar 7. Pengolahan *Network Analyst*

3.5. Survei Lapang Kondisi dan Lebar Jalan

Survei lapang dilakukan untuk validasi dari hasil pengolahan data jalur evakuasi tsunami menggunakan *Network Analyst*. Validasi perlu dilakukan untuk mengukur efektivitas dari data yang telah kita olah. Salah satu hal penting dalam

proses evakuasi adalah akses jalan yang memadai dan kondisi jalan yang mempengaruhi dalam mempercepat proses evakuasi. Lebar jalan akan diukur menggunakan rol meter dengan asumsi satu meter lebar jalan dapat dilalui dua orang dewasa. Data lebar jalan digunakan sebagai informasi tambahan untuk estimasi kapasitas dan sarana transportasi yang digunakan ketika melakukan tindakan evakuasi.

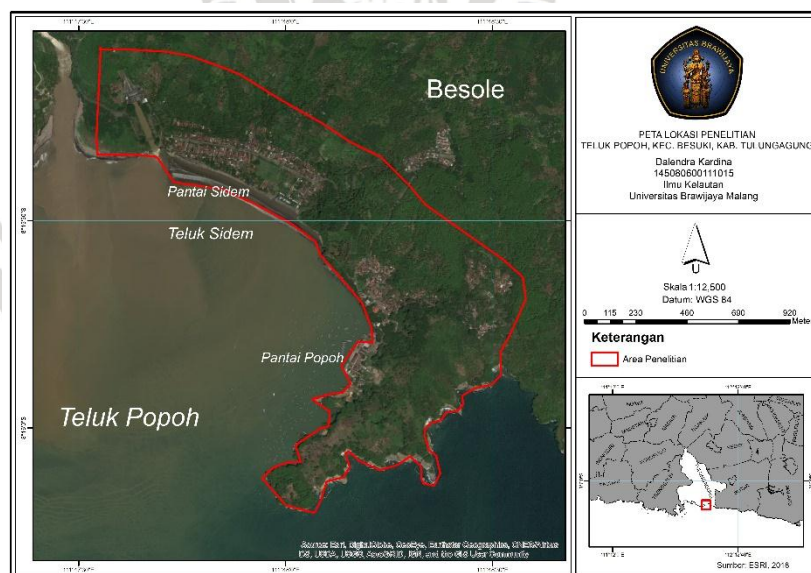
Kondisi jalan sebagai faktor pendukung agar memudahkan sarana transportasi ketika melakukan tindakan evakuasi dapat bekerja efektif. Kondisi jalan juga menentukan apakah jalur evakuasi yang digunakan memiliki efektivitas yang baik. Kondisi jalan akan dianalisis secara visual nilai kelayakannya sehingga dapat diputuskan apakah jalan tersebut dalam kondisi bagus atau tidak. Apabila jalan tersebut terbukti tidak bagus untuk jalur evakuasi maka, data dapat digunakan untuk informasi tambahan perbaikan sarana dan prasarana sehingga menjadi layak untuk jalur evakuasi.



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Wilayah Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di pesisir Desa Besole, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Desa Besole berada di sebelah selatan Ibu Kota Kecamatan Besuki 4 km dan 25 km di sebelah selatan Ibu Kota Kabupaten Tulungagung. Luas dari Desa Besole 595,077 ha. Topografi Desa Besole terdiri atas pegunungan marmer, sehingga banyak penduduk sekitar yang berprofesi sebagai penambang dan pengrajin marmer. Pada daerah pesisir Desa Besole terdapat dua pantai tujuan wisata, yaitu Pantai Sidem dan Pantai Popoh. Pantai Sidem memiliki sebaran penduduk yang lebih banyak daripada Pantai Popoh sedangkan di Pantai Popoh terdapat TPI sehingga kegiatan wisata dan kuliner lebih banyak di Pantai Popoh. Berikut merupakan peta wilayah penelitian di kawasan pesisir Desa Besole yang ditampilkan pada Gambar 7 di bawah.

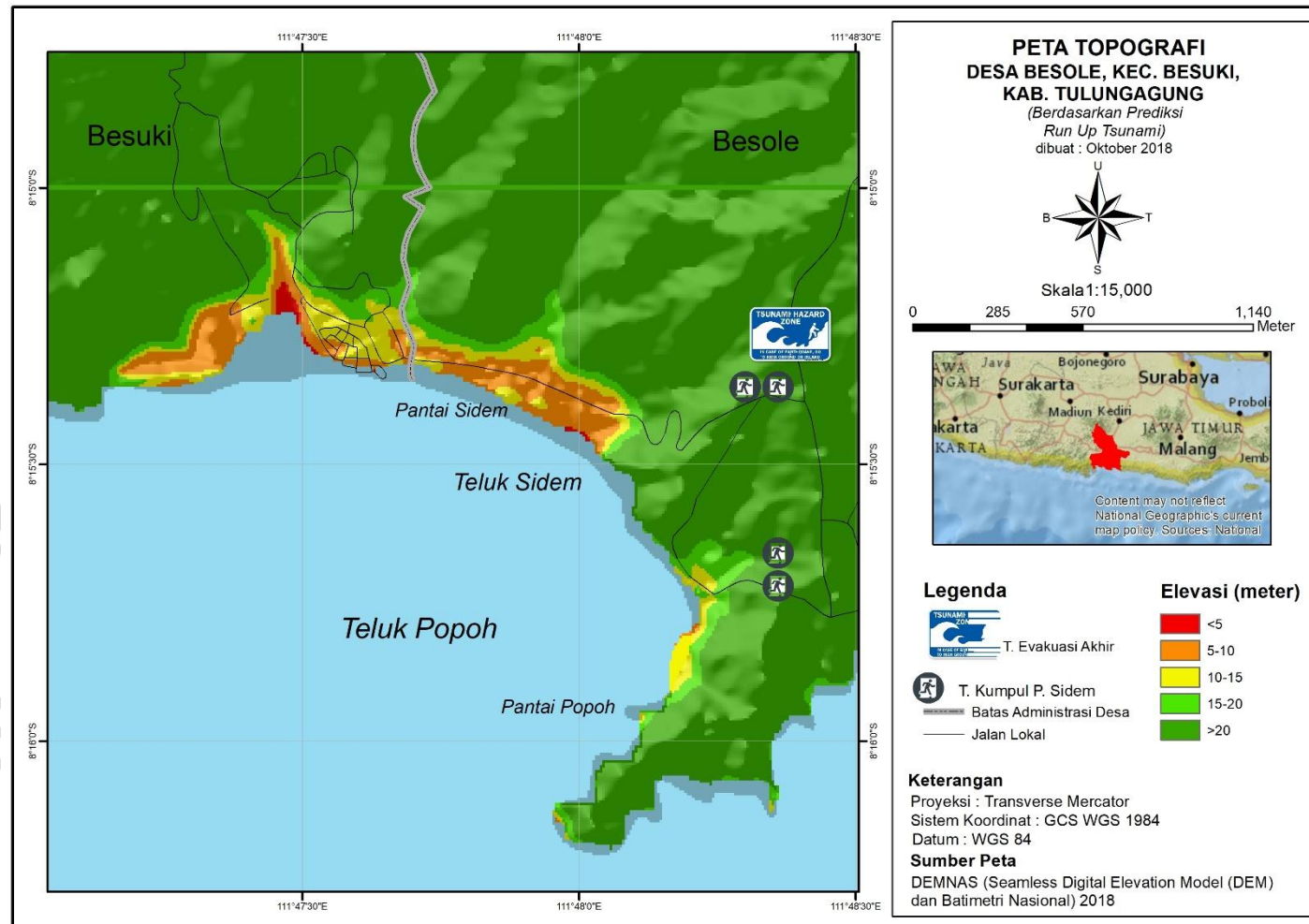


Gambar 8. Wilayah Penelitian

4.2. Topografi Desa Besole

Elevasi daratan mempengaruhi kerentanan bencana tsunami yang terjadi. Semakin rendah daratan akan mudah terkena bencana tsunami maka, semakin tinggi daratan tingkat bencana tsunami pun akan rendah. Tinggi rendahnya suatu daratan memiliki pengaruh penting terhadap jangkauan *run up* tsunami. Data yang digunakan diunduh melalui situs dari BIG <http://tides.big.go.id/DEMNAS/>. Data tersebut adalah data DEMNAS dari BIG yang telah diklasifikasikan dan diolah berdasarkan *run up* tsunami. Berdasarkan data dari PERKA BNPB No. 04 Tahun 2012 maka, *run up* tsunami daerah Kabupaten Tulungagung adalah 11 meter. Elevasi dibagi menjadi lima kelas yaitu <5 meter, 5-10 meter, 10-15 meter, 15-20 meter dan >20 meter.

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa daerah pesisir Desa Besole didominasi oleh elevasi 5-10 meter, sedangkan daerah rawan tsunami yang memiliki elevasi <5 meter berada di dekat PLTA dan di sekitar Pemukiman di Pantai Sidem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Peta Topografi yang berdasarkan *run up* tsunami juga menunjukkan bahwa area dengan sebaran warna oranye banyak terdapat pada lokasi pemukiman, PLTA dan TPI Popoh. Pada area sebaran warna oranye menunjukkan beberapa area dengan warna kuning yang menunjukkan elevasi 10-15 meter. Lokasi dengan sebaran warna kuning dapat digunakan sebagai TES (Titik Evakuasi Sementara) bersamaan dengan area sebaran warna hijau muda sebagai TEA (Titik Evakuasi Akhir). Peta Topografi dapat digunakan sebagai acuan dalam mempersiapkan dan meningkatkan kesiapsiagaan bencana tsunami serta dalam perencanaan perluasan wilayah pemukiman ke daerah dengan ketinggian yang lebih aman



Gambar 9. Topografi pesisir Desa Besole

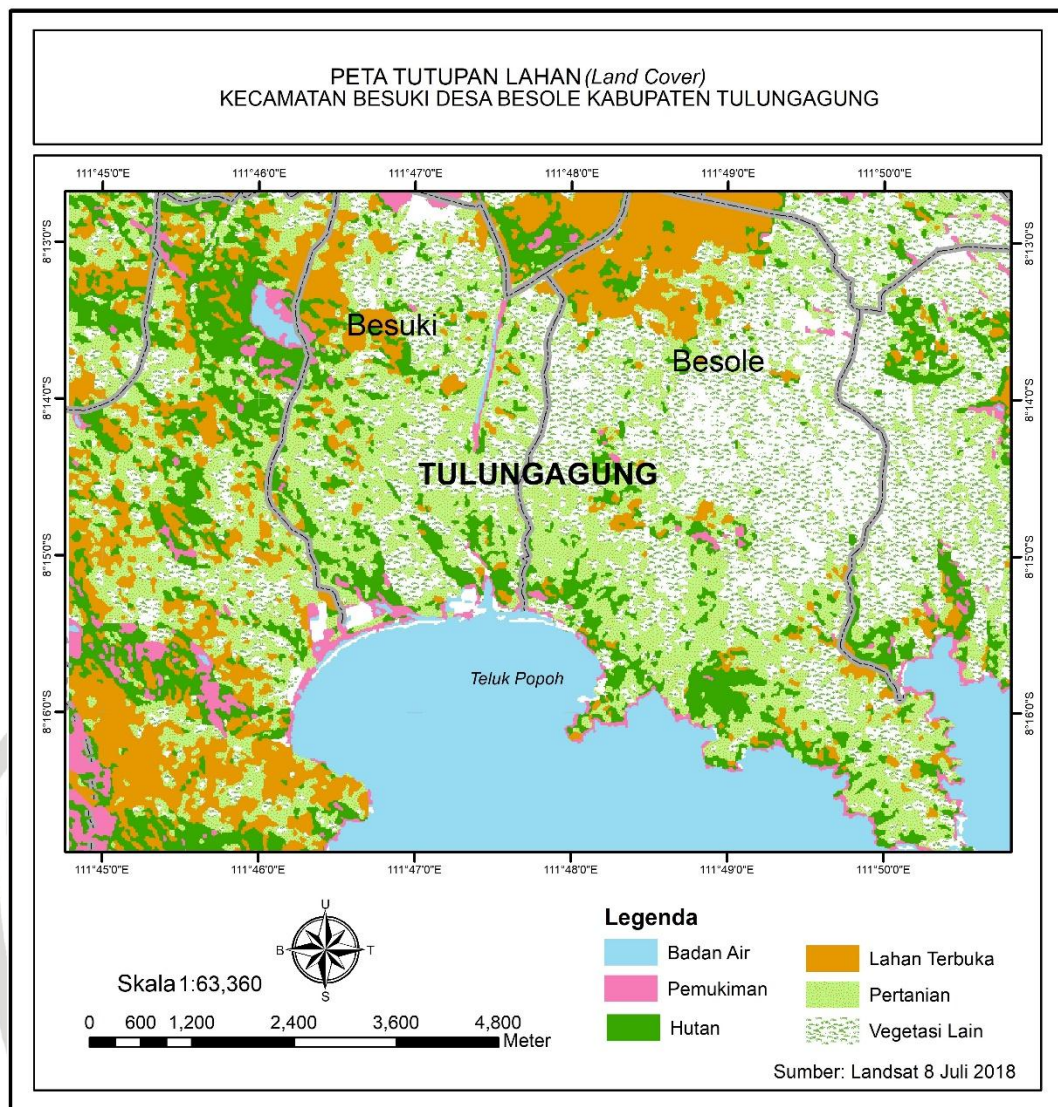
4.3. Tutupan Lahan Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung

Hasil pengolahan data tutupan lahan Desa Besole, Kabupaten Tulungagung dapat dilihat pada Gambar 9. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa di Desa Besole didominasi oleh sebaran tutupan lahan dari vegetasi lain dan pertanian. Dapat diketahui bahwa vegetasi lain merupakan area yang didominasi oleh tumbuhan, tetapi tidak termasuk pada area hutan dan pertanian. Area tersebut diklasifikasikan sebagai area sebaran vegetasi lain yang didominasi oleh tumbuhan. Tabel kelas luasan dari tutupan lahan Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung diperoleh dari citra *Landsat* 8 2018 yang telah diolah dan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Luasan Tutupan Lahan

No.	Tutupan Lahan	Luas (ha)
1.	Pemukiman	380.70
2.	Hutan	1301.45
3.	Lahan Terbuka	1371.98
4.	Pertanian	2192.51
5.	Vegetasi Lain	2098.66

Sebaran pemukiman di daerah pesisir pada Gambar 10 adalah sebaran pemukiman pada Desa Besole. Area pemukiman tersebar di daerah Pantai Sidem, TPI Popoh dan Pantai Popoh. Sebaran pada tiga daerah tersebut dikarenakan adanya pusat aktivitas penduduk setempat seperti; aktivitas jual beli, lokasi wisata, dan adanya tempat pelelangan ikan. Tutupan lahan lain yang tidak memiliki area yang luas adalah lahan terbuka. Lahan terbuka yang ada banyak didominasi oleh vegetasi lain sehingga area tersebut diklasifikasikan ke dalam vegetasi lain. Hal lain yang mempengaruhi juga adanya masyarakat yang memanfaatkan lahan sebagai area pertanian. Hasil pengolahan tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah.



Gambar 10. Tutupan lahan daerah pesisir Desa Besole

4.4. Data Penduduk Desa Besole

Data penduduk diperoleh dari publikasi data instansi Badan Pusat Statistik Kabupaten Tulungagung di Kecamatan Besuki Dalam Angka pada tahun 2018. BPS Kabupaten Tulungagung mencatatkan bahwa Desa Besole memiliki luas wilayah sebesar 5.77 km². Desa Besole berada di sebelah selatan Ibu Kota Kecamatan Besuki 4 km dan 25 km di sebelah selatan Ibu Kota Kabupaten Tulungagung. Berdasarkan dari data kependudukan tahun 2018 milik Badan Pusat Statistik Kabupaten Tulungagung, jumlah penduduk Desa Besole berjumlah 9.422 jiwa, terbanyak di antara jumlah penduduk desa lain di Kecamatan Besuki. Pemerataan penduduk belum maksimal di Kecamatan Besuki, hal ini bisa dilihat adanya kesenjangan tingkat kepadatan penduduk antar desa pada Tabel 5.

Tabel 5. Jumlah penduduk tiap desa Kecamatan Besuki

No.	Desa	Jumlah
1.	Sedayugunung	950
2.	Keboireng	2,749
3.	Besuki	4,374
4.	Besole	9,422
5.	Tanggulwelahan	4,428
6.	Tanggulturus	2,813
7.	Tanggulkundung	3,580
8.	Wateskroyo	2,665
9.	Siyotobagus	2,427
10.	Tulungrejo	1,631
Total		35,039

Sumber: Kecamatan Besuki Dalam Angka 2018

Data jumlah penduduk sangat penting sebagai informasi dalam jalannya proses evakuasi terhadap korban yang berada di wilayah rentan tsunami. Data penduduk tersebut dibutuhkan apabila terjadi bencana tsunami dapat diperkirakan berapa jumlah jiwa yang terancam atau yang harus dievakuasi, luas wilayah yang dibutuhkan sebagai titik kumpul atau titik evakuasi akhir dan jumlah logistik yang dibutuhkan ketika terjadi bencana tsunami. Data penduduk Desa Besole yang terbagi atas umur dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Jumlah penduduk Desa Besole

No.	Umur	Laki-laki	Perempuan
1.	0-4	400	307
2.	5-9	404	381
3.	10-14	397	408
4.	15-19	367	316
5.	20-24	327	305
6.	25-29	357	340
7.	30-34	340	378
8.	35-39	375	375
9.	40-44	394	404
10.	45-49	412	400
11.	50-54	278	286
12.	55-59	290	242
13.	60-64	154	151
14.	≥65	308	326
Total		4,803	4,619

Sumber: Kecamatan Besuki Dalam Angka 2018

Sesuai dengan data penduduk Desa Besole dan kecepatan berjalan dapat diketahui berapa jumlah penduduk yang dievakuasi sesuai kondisi berjalannya. Penduduk dengan kelas usia balita pada rentang umur 0-4 tahun sebanyak 707 orang. Penduduk dengan kelas usia anak dan remaja pada rentang umur 5-9, 10-14

dan 15-19 sebanyak 2.273 orang. Penduduk dengan kelas usia dewasa pada rentang umur 20-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49 sebanyak 4.407 orang. Penduduk dengan kelas lanjut usia pada rentang umur 50-54, 55-59, 60-64 dan ≥ 65 sebanyak 2.035 orang.

Penduduk rentan adalah kelompok usia penduduk yang rentan terhadap bahaya tsunami. Kelompok usia ini dianggap memiliki kemampuan yang relatif rendah untuk menyelamatkan diri dari bencana alam. Pengertian kelompok rentan tidak dirumuskan secara eksplisit dalam peraturan perundang-undangan, seperti tercantum dalam Pasal 5 ayat (3) Undang-Undang No. 39 Tahun 1999 tentang Hak Asasi Manusia yang menyatakan bahwa setiap orang yang termasuk kelompok masyarakat yang rentan berhak memperoleh perlakuan dan perlindungan lebih berkenaan dengan kekhususannya. Dalam penjelasan pasal tersebut disebutkan bahwa yang dimaksud dengan kelompok masyarakat yang rentan, antara lain adalah orang lanjut usia, anak-anak, fakir miskin, wanita hamil, dan penyandang cacat. Menurut *Human Rights Reference 3* disebutkan bahwa yang tergolong ke dalam kelompok rentan adalah: *a. Refugees; b. Internally Displaced Persons (IDPs); c. National Minorities; d. Migrant Workers; e. Indigenous Peoples; f. Children; dan g. Women* (Teja, 2018).

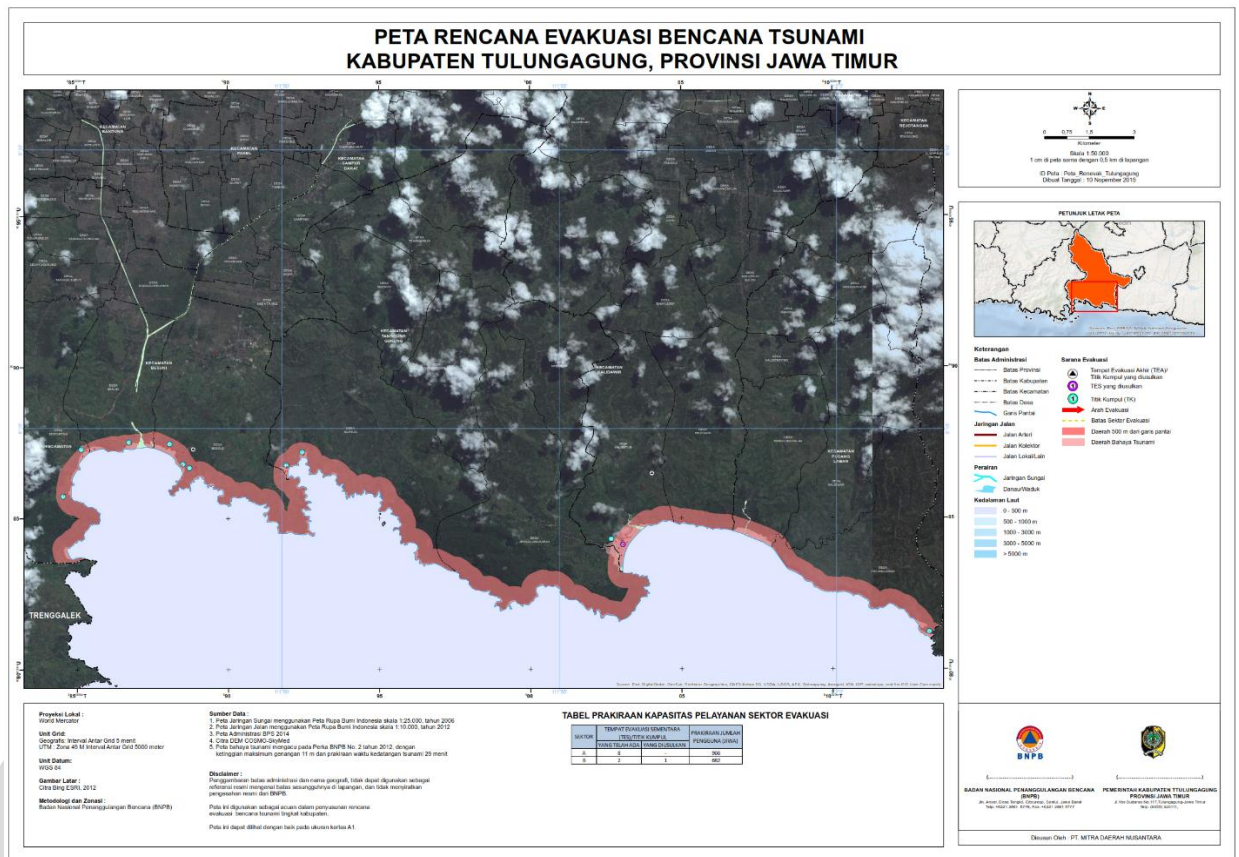
4.5. Titik Evakuasi Tsunami yang Sudah Ada

Titik evakuasi tsunami yang sudah ada juga bisa disebut sebagai Titik Evakuasi *Existing*. Pada lokasi penelitian sudah ditemukan sebaran beberapa titik evakuasi tsunami yang sudah ada. Persebaran titik evakuasi yang sudah ada diperoleh dari Peta Rencana Evakuasi Bencana Tsunami milik BNPB Tahun 2015. Peta ini mengacu pada Perka BNPB No. 2 Tahun 2012, dengan ketinggian

maksimum genangan 11 meter dan prakiraan waktu kedatangan tsunami 29 menit. Peta tersebut sesuai dengan tujuannya sebagai acuan penyusunan rencana evakuasi bencana tsunami tingkat kabupaten.

Ketika menentukan titik evakuasi dan jalur evakuasi bencana tsunami, banyak di antaranya ditentukan oleh instansi pemerintah seperti, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) dan Badan Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian dan Bencana Geologi (BPPTKG) tetap mempertimbangkan berbagai parameter yang dapat mempengaruhi tingkat keefektifan jalur evakuasi tersebut (Wiwaha *et al.*, 2016).

Terdapat empat titik evakuasi di Desa Besole yang telah ditentukan oleh BNPB pada Gambar 12. Titik evakuasi tersebut di antaranya, tiga titik kumpul dan satu titik evakuasi akhir yang sudah ditetapkan BNPB. Sebaran titik kumpul dan titik evakuasi akhir pada peta yang sudah ada berformat *.JPEG*, sehingga memiliki ketidakpastian data titik koordinat. Hal ini menyebabkan berkurangnya keefektifitasan proses pengamatan dan proses pengolahan titik dan jalur evakuasi tsunami. Selain itu, BNPB atau BPBD Tulungagung tidak memiliki data masing-masing titik koordinat. Maka, dibutuhkan *georeferencing* pada peta tersebut sebagai upaya untuk mendapatkan titik koordinat walaupun memiliki tingkat keakuratan yang tidak tinggi.



Gambar 11. Peta rencana evakuasi BNPB Tahun 2015

4.6. Sebaran Titik Evakuasi Tsunami dan Jalur Evakuasi Tsunami

Pengolahan data berdasarkan topografi, proses *network analyst* dan *tracking* di lapangan didapatkan empat titik evakuasi yang disarankan yang dapat dilihat pada Tabel 7. Titik-titik yang disarankan di antaranya, dua titik kumpul sementara yang disarankan berlokasi di dekat pemukiman Pantai Sidem dan dua titik kumpul sementara yang disarankan berlokasi di dekat pemukiman Pantai Popoh. Setiap titik kumpul yang disarankan dilakukan *overlay* sehingga memiliki nilai elevasi di atas prediksi *run up* tsunami, sehingga titik-titik kumpul yang disarankan berkategori aman dari prediksi *run up* tsunami. Titik-titik evakuasi terdekat yang didapatkan juga berdasarkan elevasi dan *tracking* di lapangan untuk menentukan apakah memiliki ketinggian yang aman.

Tabel 7. Koordinat Titik Evakuasi yang Disarankan

No.	Pantai Sidem		Pantai Popoh		Titik Evakuasi Akhir P. Sidem & P. Popoh
	T. Kumpul	T. Evakuasi Terdekat (A, B, C)	T. Kumpul	T. Evakuasi Terdekat (D, E, F)	
1.	-8.256, 111.805	-8.253, 111.793	-8.262, 111.806	-8.260851, 111.803331	-8.254, 111.806
2.	-8.256, 111.806	-8.254, 111.797	-8.261, 111.806	-8.262271, 111.804609	
3.	-	-8.254, 111.799	-	-8.264386, 111.804253	

Rute jalur evakuasi yang diolah menggunakan metode *Network Analyst* menghasilkan enam jalur evakuasi yang terbagi pada daerah pemukiman Pantai Sidem dan Pantai Popoh. Sebaran jalur evakuasi di antaranya, satu di daerah pemukiman Pantai Sidem dan dua di daerah pemukiman Pantai Popoh. Penentuan jalur dan titik evakuasi tsunami juga didasarkan pada sebaran pemukiman, sehingga titik evakuasi akhir juga ditentukan di dekat pemukiman Pantai Sidem yang sebaran

pemukimannya lebih besar dari Pantai Popoh. Namun, pada Pantai Popoh ditetapkan tiga titik kumpul sementara yang disarankan lebih dekat dengan pemukiman dan aman dari prediksi *run up* tsunami. Jalur evakuasi yang tersebar memiliki rata-rata lebar jalan sebesar 2,5 meter sampai 5 meter. Kapasitas jalan dalam menampung warga dan kendaraan mempengaruhi dipilihnya jalan yang dianggap memenuhi sebagai jalur evakuasi tsunami. Tipe-tipe jalan berpengaruh akan dipilihnya jalur tersebut untuk evakuasi tsunami. Lokasi di Pantai Sidem yang memiliki banyak pemukiman menjadi penyebab dipilihnya titik evakuasi akhir di dekat Pantai Sidem. Pantai Popoh terdapat dua titik kumpul sementara yang dipilih. Kondisi dan lebar jalan juga mempengaruhi kecepatan dan efektivitas ketika evakuasi berlangsung.

4.7. Analisis Titik Evakuasi Tsunami dan Jalur Evakuasi Tsunami

Keefektivitasan titik evakuasi dan jalur evakuasi tsunami dari hasil penelitian dianalisis berdasarkan waktu tempuh menuju titik evakuasi yang dilakukan ketika *tracking* di lapang. Efektivitas dari waktu tempuh menuju titik evakuasi menggunakan kecepatan evakuasi yang dilakukan peneliti secara langsung pada jalur-jalur tersebut. Kondisi kecepatan dibagi menjadi dua, yaitu orang dewasa dan orang tua. Kecepatan masing-masing orang dewasa dan orang tua adalah 6 menit dan 9 menit. Titik evakuasi terdekat ditentukan sebagai lokasi untuk menyelamatkan diri sementara dari bencana tsunami, sebelum menuju titik kumpul evakuasi sementara atau titik akhir evakuasi. Titik-titik evakuasi terdekat terletak di ketinggian dengan elevasi antara 15-20 meter dan >20 meter. Berikut merupakan kecepatan menuju titik evakuasi terdekat dari titik A sampai titik F pada Gambar 12 di bawah.

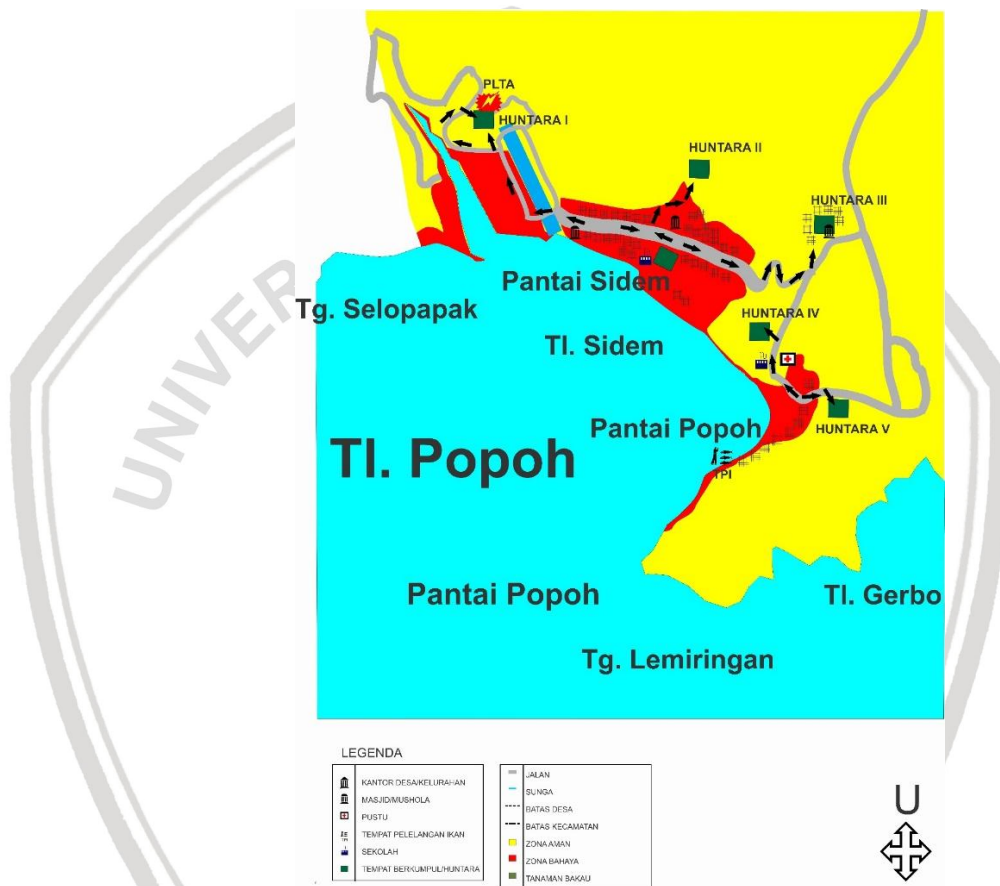
Titik Evakuasi Terdekat	Waktu Tempuh Orang Dewasa	Waktu Tempuh Orang Tua
Titik A	32 detik	1 menit 13 detik
Titik B	3 menit 22 detik	5 menit 50 detik
Titik C	2 menit 39 detik	4 menit 35 detik
Titik D	4 menit 49 detik	9 menit
Titik E	3 menit 20 detik	4 menit 45 detik
Titik F	2 menit 23 detik	4 menit

Gambar 12. Kecepatan menuju titik evakuasi terdekat

Jalur evakuasi satu pada Gambar 13 yang berada di area pemukiman penduduk Pantai Sidem berbatasan tepat dengan jalan menuju PLTA Tulungagung dan letaknya dekat dengan pesisir Pantai Sidem. Terdapat dua titik kumpul sementara yang disarankan dekat area pemukiman di Pantai Sidem dengan titik koordinat -8.256 LS, 111.805 BT dan -8.256 LS, 111.806 BT. Titik tersebut memiliki kondisi sekitar dekat dengan rumah warga yang aman, jalan utama dan tanah lapang yang cukup luas. Kondisi jalan cukup baik walau masih terdapat sedikit bagian jalan yang rusak tidak sampai berlubang dan lebar jalan ± 5 meter. Jalur evakuasi yang kedua dan ketiga terletak di bukit belakang pemukiman. Jalur kedua dan ketiga memiliki lokasi dengan tanah lapang yang cukup luas. Jalur tersebut memiliki ketinggian yang cukup untuk menyelamatkan diri dari gelombang tsunami. Namun, seiring jalannya evakuasi dengan ketinggian tersebut kecepatan evakuasi bagi pengungsi dapat berkurang.

Jalur evakuasi empat dan lima pada Gambar 13 yang terdapat pada area Pantai Popoh dan dekat dengan pesisir pantai, sedangkan titik kumpul yang disarankan terletak di titik koordinat -8.262 LS, 111.806 BT dan -8.261 LS, 111.806 BT memiliki kondisi yang letaknya dekat dengan jalan utama dan terdapat tanah lapang yang cukup luas. Kondisi jalan cukup baik, tidak ditemukan kondisi jalan yang berlubang parah, tetapi jalan dari area pesisir Pantai menuju titik kumpul yang disarankan memiliki kemiringan yang cukup tinggi sehingga ketika mendekati titik

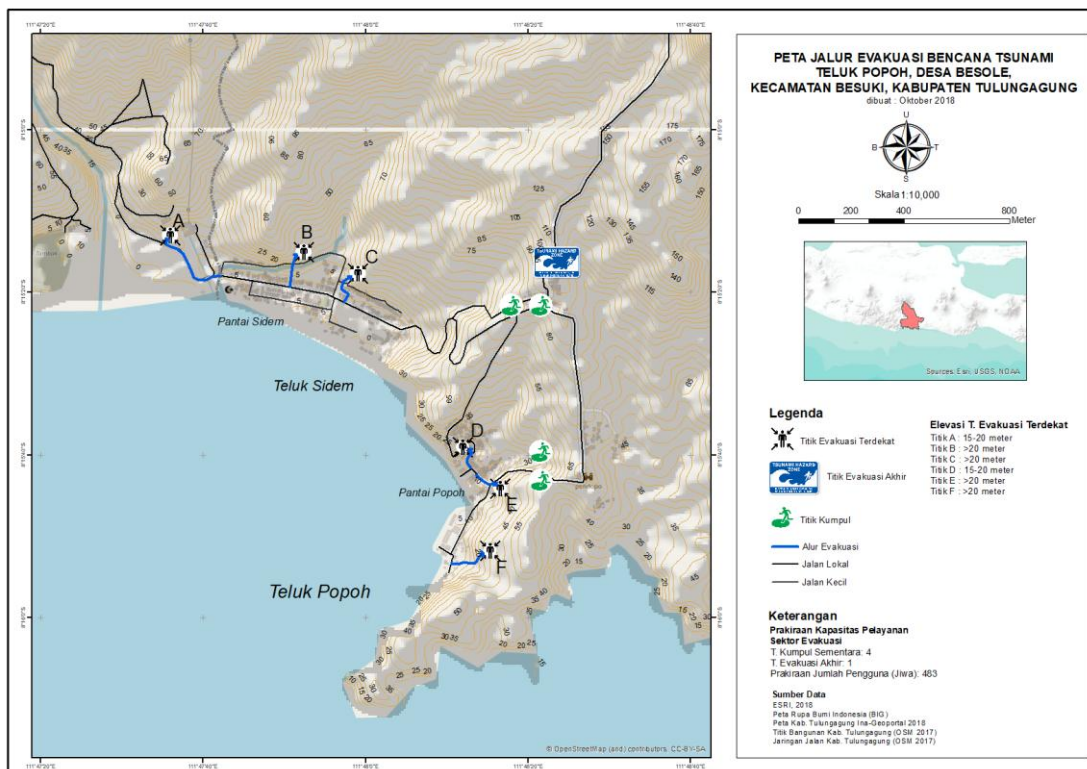
kumpul kecepatan pengungsi bisa saja berkurang serta lebar jalan ± 5 meter yang mudah dilalui oleh dua orang dewasa. Jalur evakuasi ke enam memiliki lokasi yang cukup sebagai tanah lapang dengan kondisi jalan tanah dan sedikit berbatu. Lebar jalan ± 2 sampai 3 meter yang masih bisa memuat dua orang dewasa. Memiliki ketinggian yang aman dan ketika menuju titik tersebut tidak terlalu memberatkan pengungsi ketika evakuasi karena jalan menuju lokasi tidak terlalu curam.



Gambar 13. Peta BPBD Kabupaten Tulungagung Tahun 2012

Peta jalur evakuasi tahun 2012 juga sudah terdapat pada daerah pesisir Desa Besole yang dibuat oleh BPBD Kabupaten Tulungagung (Gambar 12). Terdapat lima titik evakuasi sementara yang disebut tempat berkumpul/huntara. Tempat berkumpul sementara terdapat satu di dekat PLTA Kabupaten Tulungagung,

dua di dekat pantai Pantai Sidem dan tiga di dekat Pantai Popoh. Lokasi bangunan PLTA, sekolah dan rumah sakit berdekatan dengan titik berkumpul sehingga ketika melakukan evakuasi dari bangunan tersebut tidak memakan waktu yang lama. Terdapat beberapa titik evakuasi yang memiliki sedikit kemiripan koordinat, yaitu pada wilayah di Pantai Sidem dan Pantai Popoh. Jika dibandingkan dengan peta jalur evakuasi tsunami yang disarankan, Titik evakuasi terdekat Titik B dan Titik F dapat digunakan sebagai patokan untuk titik evakuasi tambahan dalam peta jalur evakuasi tsunami milik BPBD selanjutnya.



Gambar 14. Peta Jalur Evakuasi Tsunami

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Dari hasil pengolahan data, didapatkan lima titik evakuasi yang disarankan di antaranya, empat titik kumpul sementara yang disarankan di mana dua titik di dekat pemukiman Pantai Sidem dan dua titik di dekat pemukiman Pantai Popoh, sedangkan satu titik evakuasi akhir yang disarankan.
2. Rute jalur evakuasi dari hasil pengolahan data diperoleh enam jalur di antaranya yang terletak di pemukiman Pantai Sidem dan di pemukiman Pantai Popoh.
3. Titik evakuasi terdekat ditentukan enam titik yang terbagi tiga titik baik di daerah Pantai Sidem dan Pantai Popoh. Titik A dan Titik E menjadi titik evakuasi terdekat yang tercepat dan terlama yang dapat ditempuh oleh pengungsi..

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian mengenai Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami Berbasis Sistem Informasi Geografis, maka dapat disampaikan saran-saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Terlebih dahulu dilakukan survei lapang agar mengetahui keadaan lokasi baik dari lebar dan kondisi jalan sehingga jalan tersebut memadai sebagai jalur yang efektif.
2. Pendataan penduduk yang lebih akurat sehingga dapat mengurangi dan mengestimasi jumlah korban yang perlu dievakuasi.

3. Diperlukan data luas area yang akurat untuk titik evakuasi sehingga dapat diperoleh estimasi jumlah kapasitas untuk menampung korban.
4. Kecepatan pengungsi diperlukan dalam bentuk kelas-kelas tiap umur sehingga dapat diketahui lebih detail estimasi waktu menuju titik evakuasi.



DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda, 2013. Kabupaten Tulungagung Potensi dan Produk Unggulan Jawa Timur.
- Benazir, Radianta, T., Adam, P.R., Nur, Y., 2016. Studi Interaksi Gelombang Tsunami terhadap Struktur Mitigasi dan Pengaruhnya dalam Pembentukan Run-up di Daratan Pantai. *Pertem. Ilm. Tah. Himpun. Ahli Tek. Hidraul. Indones.* XXXIII, 11.
- Daoed, D., Febriansyah, M.D., Syukur, M., 2013. Model Fisik Arah Aliran Gelombang Tsunami Di Daerah Purus Dan Ulak Karang Padang. *J. Rekayasa Sipil JRS-Unand* 9, 20–30.
- Elhag, A.R.E.A.A., Abdalla, R.F., Gism, N.A., Mohammed, A.E., Sideeg, S.E.K., 2016. Route Network Analysis in Khartoum City. *J. Sci. Technol.* 17.
- Hamidi, H., 2012. Aplikasi Sistem Informasi Geografis Berbasis Web Penyebaran Dana Bantuan Operasional Sekolah. *J. Masy. Inform.* 2, 1–14.
- Mudin, Y., Pramana, I.W.J., Sabhan, 2015. Mapping of Tsunami Disaster Risk Based Spatial In Palu. *Gravitasi* 14, 11.
- Muhajir, A., Cahyono, A.B., 2013. Analisa Persebaran Bangunan Evakuasi Bencana Tsunami menggunakan Network Analyst di SIG. *J. Tek. POMITS* 2, 6.
- Muslim, M.A., 2005. Aplikasi Penentuan Rute Terbaik Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Din.-J. Teknol. Inf.* 10.
- Nur, A.M., 2010. Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya. *J. Geogr.* 7, 8.
- Nurfaida, 2016. Penggunaan SIG untuk Pemetaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Desa Tonggolobibi Kecamatan Sojol Kabupaten Donggala. *GeoTadulako* 4.
- Parveen, K., Kumar, D., 2016. Network Analysis using GIS Techniques A Case of Chandigarh City.pdf. *Int. J. Sci. Res. IJSR* 5, 3.
- Pramudya, R.A., Subiyanto, S., 2015. Penggunaan Algoritma Dijkstra dalam Perencanaan Rute Evakuasi Bencana Longsor di Kota Semarang. *Geoplanning J. Geomat. Plan.* 2, 10. <https://doi.org/10.14710/geoplanning.2.2.93-102>
- Purbani, D., Ardiansyah, Cendikia Dewi, L., Prihantono, J., Bramawanto, R., 2014. Penentuan Tempat Evakuasi Sementara (TES) Dan Tempat Evakuasi Akhir (TEA) Untuk Gempa Bumi Dan Tsunami Dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis 16.
- Rostianingsih, S., Handoyo, I., Gunadi, K., 2004. Pemodelan peta topografi ke objek tiga dimensi. *J. Inform.* 5, pp–14.
- Sampurno, R.M., Thoriq, A., 2016. Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) Di Kabupaten Sumedang (Land Cover Classification Using Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) Data in Sumedang Regency). *J. Teknotan* 10, 61–70.
- Saputra, I.D., Subardjo, P., Handoyo, G., 2014. Peta Kerawanan Tsunami Serta Rancangan Jalur Evakuasi Di Pantai Desa Parangtritis Kecamatan Kretek Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. *J. Oseanografi* 3, 10.
- Sigit, A.A., Priyono, P.P., Andriyani, A.A., 2011. Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Berbasis Web Untuk Monitoring Banjir Di Wilayah DAS Bengawan Solo Hulu. *Semantik* 1.

- Sunardi, B., Ngadmanto, D., Hardy, T., Susilanto, P., Nurdianto, B., 2012. Kajian Kerawanan Gempabumi berbasis SIG dalam Upaya Mitigasi Bencana Studi Kasus Kabupaten dan Kota Sukabumi.
- Syam, A., 2016. Kelayakan Jalur Evakuasi Tsunami di Kecamatan Padang Utara Kota Padang. J. Kepemimp. Dan Pengur. Sekol. 1, 12.
- Syukri, A., 2016. Studi Jalur Evakuasi Tsunami Horizontal Di Kabupaten Padang Pariaman. Rekayasa Sipil XIII, 12.
- Teja, Mohammad., 2018. Kesiapsiagaan Masyarakat Terhadap Kelompok Rentan Dalam Menghadapi Bencana Alam Di Lombok. Pusat Penelitian Badan Keahlian DPR RI. Vol. X, No. 17/I/Puslit/September/2018.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana.
- Wiwaha, A.A., Mei, E.T.W., Rachmawati, R., 2016. Perencanaan Partisipatif Jalur Evakuasi dan Titik Kumpul Desa Ngargomulyo dalam Upaya Pengurangan Resiko Bencana Gunungapi Merapi. J. Reg. City Plan. 27, 34–48. <https://doi.org/10.5614/jrcp.2016.27.1.4>
- Yuhanah, T., 2014. Konsep Desain Shelter Mitigasi Tsunami. J. Teknol. 6, 13.

